



可持续建设和施工培训教材



switchasia

出版信息

报告主题：可持续建设和施工培训教材

发布：伍珀塔尔研究所：Gokarakonda, Sriraj
Moore, Christopher
中国建筑节能协会

发布：伍珀塔尔研究所 2018

项目：中国西部可持续建筑的推广和主流化 SusBuild

工作包：1

资助方：欧盟

联系人：Chun Xia-Bauer
chun.xia@wupperinst.org
Doeppersberg 19
42103 Wuppertal (Germany)

“可持续发展是既能满足我们现今的需求，同时又不损
及后代子孙满足他们需求的发展”
(布兰特兰委员会，1987)

目录

1	引言	1
1.1	可持续建设	1
1.1.1	可持续性的维度	1
1.1.2	可持续建设阶段	2
2	欧洲与可持续建设相关的政策、标签体系及标准	3
2.1	欧盟与绿色施工相关的技术标准	3
2.1.1	欧盟层面	3
2.1.2	CEN/TC 350 - 建筑工程的可持续性	3
2.1.2.1	EN 15643-1:2010 - 建筑可持续性评价 - 第 1 部分：总体框架	5
2.1.2.2	EN 15643-2:2011 - 建筑评价 - 第 2 部分：环境绩效评价框架	5
2.1.2.3	EN 15643-3:2012 - 建筑评价：社会绩效评价框架	5
2.1.2.4	EN 15643-4:2012 - 建筑评价：经济绩效评价框架	5
2.1.2.5	EN 15978:2011 - 建筑环境绩效评价。计算方法	5
2.1.2.6	EN 16309:2014 - 建筑社会绩效评价 - 方法	6
2.1.2.7	EN 16627:2015 - 建筑经济绩效评价 - 计算方法	6
2.1.2.8	EN 15804:2012+A1:2013 - 环境产品声明。建筑产品产品类别的核心规则	6
2.1.2.9	CEN/TR 15941:2010 - 环境产品声明。通用数据的选择和使用方法	7
2.1.2.10	EN 15942:2011 - 环境产品声明。B2B 沟通方式	7
2.2	欧洲可持续建筑标识	7
2.2.1	DGNB 德国可持续建筑评价体系	8
2.2.2	BREEAM - 英国建筑研究院环境评价体系	14
2.3	更多标准和准则	20
2.3.1	ISO 14000 环境管理	20
2.3.1.1	ISO 14001: 2015 环境管理体系 - 要求及使用指南	20
2.3.1.2	ISO 14006:2011 - 环境管理体系 - 指南纳入生态设计	20
2.3.1.3	ISO 14020 系列 (14020 至 14025) 环境标志和声明	21
2.3.1.4	EN ISO 14040:2006 - 环境管理 - 生命周期评价 - 原则和框架	21
2.3.2	ISO 15392 及相关建筑和土木工程可持续性国际标准系列	21
2.3.2.1	ISO 15392 建筑施工的可持续性 - 一般原则	22
2.3.2.2	ISO 21929-1:2011 建筑施工的可持续性 - 建筑指标开发框架和建筑核心指标	22
2.3.2.3	ISO 21930:2007 建筑施工的可持续性 - 建筑产品的环境声明	22
2.3.2.4	ISO 21931-1:2010 建筑施工的可持续性 - 建筑工程环境绩效评价方法的框架	22
2.3.3	ISO 50001 能源管理标准	22
2.3.4	欧盟环境管理体系 (EMAS)	23
2.3.5	ISO / TS 12720:2014 - 建筑和土木工程的可持续性	23
2.3.6	层级框架	23
2.3.7	《促进废弃物闭环循环管理及确保环境相容的处置废物法》(KrWG)	24
2.4	可持续产品标识	24
2.4.1	生态标识和环境产品声明	24
2.4.1.1	最佳实践范例——材料数据库 - ÖKOBAUDAT	26
2.4.1.2	最佳实践范例 - 被动房节能组件	26
3	施工阶段的环境方面	28
3.1	施工的环境影响	28
3.2	环境目标和评价标准	28
3.3	可持续施工工艺	28
3.3.1	景观保护	28
3.3.2	土壤保持和污染	29
3.3.3	水污染	30
3.3.4	噪声控制	30
3.3.5	粉尘控制 - 空气中的微粒和粉尘	31
3.4	施工阶段的可持续资源利用和材料效率	32
3.4.1	材料资源效率	32
3.4.2	资源生产率	32
3.4.3	资源利用的环境影响	32

3.4.4	资源节约型施工	32
3.5	现场能耗	33
3.5.1	技术	33
3.5.2	培训	34
3.5.3	住宿	34
3.5.3.1	最佳实践范例 - 集装箱宿舍	34
3.5.3.2	最佳实践范例 - 木质居住舱模块	34
3.5.4	运输能耗	35
4	可持续材料和技术	36
4.1	知识库	36
4.2	生态平衡	36
4.3	施工工艺材料	36
4.4	生态材料和技术	37
4.4.1	再生材料	37
4.4.2	最佳实践范例 - 生态水泥	37
4.4.3	最佳实践范例 - 木材	38
5	施工阶段的质量控制	39
5.1	质量控制	39
5.1.1	施工现场质量控制	39
5.1.2	建筑测量	40
5.1.2.1	材料清单	40
5.1.2.2	鼓风门	40
5.1.2.3	热像仪	40
5.1.2.4	空气质量	40
5.1.2.5	热桥	40
5.1.2.6	液压调试等系统调控	41
5.1.2.7	声音	41
6	拆建废弃物管理和回收利用	42
6.1	废弃物控制	42
6.1.1	最佳实践范例 - 骨料和砾石的回收利用	43
6.1.2	最佳实践范例 - 英国《工地废弃物管理计划》	43
6.2	拆除和可回收性	44
6.2.1	最佳实践范例 - 积水之家 (Sekisui Heim) : 日本预制公司的回收理念	45
6.2.2	最佳实践范例 - 可回收利用建筑案例研究	45
7	可持续建设培训	47
7.1	培训	47
7.1.1	最佳实践 - 供应链可持续发展学校	47
7.1.2	最佳实践 - 德国的二元制职业培训	48
8	可持续发展建筑施工成本及成本降低	49
8.1	设计规划阶段	52
8.2	材料	52
8.3	施工阶段	52
8.4	回收利用与废弃物减量	52
8.5	建筑公司及其可持续发展投资	52
9	可持续施工阶段	54
9.1	相关主体及职责	54
9.2	可持续建筑过程	55
9.2.1	其他建造阶段的前提条件——设计与规划	56
9.2.2	施工阶段启动	57
9.2.3	可持续材料和材料采购	57
9.2.4	专业间互动优化	58
9.2.5	废弃物减量	58
9.2.6	质量控制	58
9.2.7	施工阶段结束	58
9.3	可持续建筑过程优化	59

9.3.1	整体可持续设计方法	59
9.3.1.1	最佳实践范例 - 精益建造	61
9.3.2	预制加工和工业化建设	62
9.3.3	可持续建筑施工中的建筑信息模型 BIM - 通向建筑 4.0	63
9.3.3.1	最佳实践范例 - 新卡罗琳医院 (New Karolinska Hospital)	65
10	外墙保温技术的发展与技术现状	69
10.1	国外墙外保温技术的发展	69
10.1.1	国外墙外保温技术的发展现状	69
10.1.2	国内保温隔热技术发展现状	70
10.1.3	行业发展趋势	70
10.2	建筑外墙保温技术现状	71
10.2.1	外墙保温类型	71
10.2.2	外墙外保温技术优势分析	71
10.2.3	常用外保温材料	72
10.2.4	常见外墙外保温系统构造	73
11	我国外墙保温的政策与标准	77
11.1	国家的政策	77
11.2	建筑节能设计标准	77
11.3	建筑节能工程建设标准	77
11.4	建筑节能产品标准	78
12	外墙内保温工程绿色施工技术	80
12.1	外墙内保温的技术现状	80
12.2	外墙内保温与外墙外保温的对比	80
12.2.1	外墙内保温的基本情况	80
12.2.2	外墙外保温技术现状	80
12.3	外墙内保温技术的改进	81
12.4	外墙内保温体系	82
12.5	外墙内保温的材料	83
12.6	外墙内保温工程的施工与安全	83
12.6.1	材料的选择	83
12.6.2	施工的要点	83
12.6.3	施工质量的要求	84
13	外墙外保温工程绿色施工技术	85
13.1	般规定	85
13.2	保温浆料系统施工要点	85
13.2.1	保温浆料系统施工要点	85
13.2.2	贴砌聚苯板系统施工要点	87
13.2.3	现浇混凝土无网聚苯板系统施工要点	89
13.2.4	现浇混凝土有网聚苯板系统施工要点	90
13.2.5	喷涂聚氨酯系统施工要点	91
13.2.6	锚固岩棉板系统施工要点	92
13.2.7	粘贴保温板系统施工要点	93
13.3	施工质量验收	95
13.3.1	般规定	95
13.3.2	主控项目	95
13.3.3	一般项目	96
14	外保温工程质量问题分析	98
14.1	模塑聚苯板外保温工程	98
14.1.1	EPS 板脱落的原因	98
14.1.2	防止 EPS 板脱落的措施	99
14.2	挤塑聚苯板外保温工程	101
14.2.1	XPS 板外保温质量问题案例	101
14.2.2	XPS 板薄抹灰系统开裂起鼓原因分析	101
14.2.3	XPS 板应用中存在问题的处理方法	103
14.3	现浇混凝土模塑聚苯板外保温工程	104
14.3.1	质量问题案例	104

14.3.2	质量问题原因分析	105
14.3.3	解决方案	106
14.4	酚醛板外保温工程	108
14.4.1	酚醛板外保温工程质量事故分析	108
14.4.2	防止质量事故的措施	109
14.5	岩棉板外保温工程	110
14.5.1	岩棉板外保温工程质量问题案例	110
14.5.2	岩棉板外保温工程质量问题原因分析	112
14.5.3	解决方案	113
15	参考文献	115
15.1	文献	115
15.2	标准	116
15.3	网页	117

图目录

图 1: 可持续性的整体评价标准	1
图 2: CEN/TC 350 在框架、建筑和产品层级的不同实施水平	4
图 3: 两个欧洲可持续建筑标签比较	7
图 4: 可持续建筑规范与 CEN/TC 350 比较	8
图 5: ISO 15392 及相关建筑和土木工程可持续性国际标准系列	21
图 6: 环境产品声明示例, FSC, Blaue Engel, Cradle to Cradle, EPD Ireland	25
图 7: 环境产品声明数据库示例, EPD, Ökobaudat, Service Life, WECOBIS	26
图 8: 被动房合适的组件标签。	27
图 9: 瑞士的节能集装箱	34
图 10: 德国节能预制木质集装箱	35
图 11: 运输带来的全球变暖潜能值	35
图 12: 可在施工现场上发现的有害物质例子及其对健康的影响	37
图 13: 拆建废弃物概况	42
图 14: 可持续拆除的建筑设计	45
图 15: R128 House 的西向立面图	46
图 16: 不断上涨的施工及建筑成本	49
图 17: 与美国绿色建筑评价体系 (LEED) 有关的报告成本溢价 (美国)	50
图 18: 不同来源的可持续建筑报告成本溢价	51
图 19: 建筑施工行业中最重要商务关系	54
图 20: 相关方概览	55
图 21: 可持续建筑过程流程图	56
图 22: 典型项目设计与交付	60
图 23: 整体设计与交付	60
图 24: 整体可持续建设过程工具	61
图 25: 精益建设阶段步骤	62
图 26: 在施工阶段使用建筑信息模型	63
图 27: 承包商认可建筑信息模型 BIM 的益处	64
图 28: 建筑信息模型 BIM 对可持续发展的影响	65
图 29: 施工中的新卡罗琳医院	66

1 导言

建筑业占全球任何一个国家国内生产总值（GDP）的 5-10%，劳动力占比达 10%，是提供就业机会的重要行业。与此同时，建筑业能耗占全球能耗总量的 40%，自然资源消耗量占全球自然资源消耗总量的 50%，而建筑垃圾产生量占全球垃圾总量的 60%。因此，可持续发展的建筑行业是减少全球温室气体（GHG）、提高世界可持续发展水平的关键因素。

1.1 可持续建设

可持续建设系指**采用环保型建筑设计、施工方法和建筑材料**。这不仅关乎建筑本身，还关系到建筑周边环境以及更广泛的区域和全球环境。

可持续建设是“在从初始规划审批到设计、施工、运营、维护、改造及拆除的整个建筑工程生命周期中创建建筑工程以及使用对环境负责、节约资源的工艺的做法。”

先导市场计划（Lead Market Initiative）定义

迄今为止，可持续建筑的重点一直放在使用阶段。然而，随着建筑节能水平日益提高，可持续性的潜力越来越多地从使用阶段转移到规划和施工阶段。

1.1.1 可持续性的维度

可持续建设通常被简称为“生态规划”或“节能建设”。然而，生态和能效只是真正全面可持续建设的两个部分。要实现可持续建设，必须以可持续性、经济、生态和社会文化维度三大支柱为基础来审视可持续性的各个方面。必须在同一时间和同一程度上评价这三个维度。

然而，可持续性还必须考虑技术和工艺质量以及功能和特定地点因素。建筑的技术特性能够对可持续性产生重大影响。这同样适用于工艺质量，后者会显著影响其他可持续性，在早期规划阶段尤其如此。然而，工艺质量的最大影响是在施工阶段。在这一阶段，建筑的未来可持续性业已确定。例如，材料的选择，甚至施工工艺本身就是建筑可持续性的决定性因素。最后，必须评价包括社会、政治、文化以及气候条件在内的场地或地点特定因素，因为建筑始终是对其场地条件的回应。只有对以上所有维度进行整体评价，方能打造面向未来的可持续建筑。

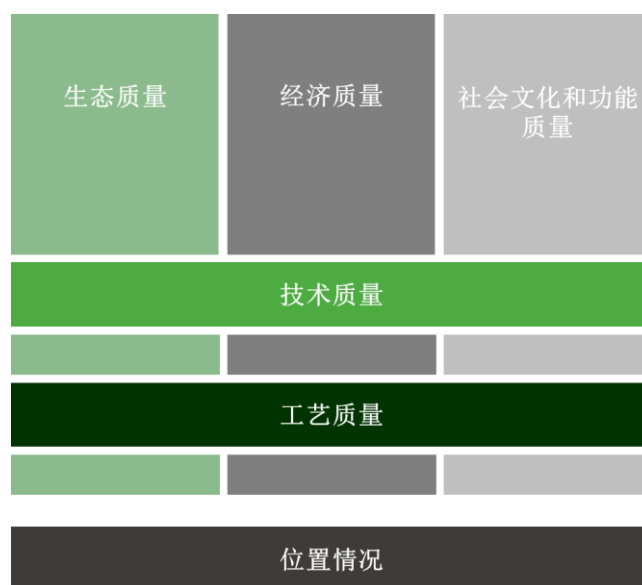


图 1：可持续性的整体评价标准

资料来源：BMUB 2016 p.18

1.1.2 可持续建设阶段

可持续建筑与业主及投资者的利益直接相关。业主和投资者要求提供服务和运营成本低廉的可持续节能建筑。通过认证，可评估建筑的质量和价值及其经济竞争力。可持续建设阶段在这方面扮演关键角色，因为使用适当的可持续材料和技术以及可持续施工工艺和可持续建筑工地，在成本和可持续性方面起着重要作用。

可持续建设还带来额外益处。例如，基于可持续建设理念，一些建筑公司改变了经营模式，考虑以新颖的方式提供产品和服务，更加精准地满足客户对可持续建筑的需求，从而增加盈利。因此，建筑公司越来越多地采用可持续建筑和标签体系。这些体系包含建筑生命周期的各个方面（包括施工阶段），例如德国可持续建筑评价体系（DGNB）或美国绿色建筑评价体系（LEED）。建筑公司将其作为有效的风险控制管理工具。

建筑公司若要保持竞争力，高效资源管理（包括材料和能源）是中长期内的必要条件。这无疑能够改善建筑公司的形象。这种可持续建设的潜力（尤其是在施工阶段）尽管巨大，但带来了众多驱动力和障碍。施工阶段的可持续建设面临的障碍主要包括：

- 技术锁定（例如使用过时的机器），
- 建筑业的研发活动水平低下
- 可持续建设效益的透明度低
- 缺乏基础知识，知识基础薄弱
- 低入门壁垒的碎片化市场
- 承包商对可持续创新成果的风险规避态度
- 缺乏可持续建筑材料和技术
- 及早适应可持续材料和技术的高昂价格
- 公共行政部门缺乏支持可持续建设的意愿

本手册旨在探讨这些主题，同时针对这些主题提供思路、建议和解决方案，藉此推动开展可持续建设。

2 欧洲与可持续建设相关的政策、标签体系及标准

建筑业的标准旨在帮助建筑师、工程师、其他专业设计人员、承包商、材料生产商、采购商以及业主了解建筑可持续开发、施工、维护和维修的偏好。与标准并行，可靠的第三方材料和工艺认证确保建筑产品生态和社会影响的透明度，同时为创新留出空间，并由市场作出知情选择。

2.1 欧盟与绿色施工相关的技术标准

2.1.1 欧盟层面

尽管欧盟（EU）有多项能效政策，但迄今为止对可持续建设的关注极少。然而，许多政策直接或间接影响包括施工阶段在内的建筑可持续性。

就综合建筑评价而言，评价建筑和建筑产品可持续性的方法或框架主要由私营机构开发。这些方法和框架为市场提供了可持续建筑的工作定义以及评价工具。然而，这些现有方案并非传统意义上的“真正”政策。不过，欧盟已经开始制定欧盟范围的自愿标准 CEN/TC 350，以此解决这一问题，同时满足对评价工具的需求。

2.1.2 CEN/TC 350 - 建筑工程的可持续性

CEN/TC 350 框架是用于评价建筑及其建筑工程的可持续性的自愿性横向、标准化和统一方法，可持续性包括体现的和运作的环境影响及其聚集（特别是通过环境产品声明（EPD）的材料）。该标准由欧洲标准化委员会（CEN）开发，涵盖所有建筑类型的新建和既有建筑工程的各个方面、建筑整个生命周期的综合性能以及建筑产品的环境产品声明标准。该标准具有多重益处，主要旨在：

- 明确支持建筑工程可持续性评价所需的信息
- 为产品信息提供结构化格式，以此将其应用于建筑工程评价过程
- 通过了解所作决定的影响，提供促进气候变化减缓和其他可持续性方面（例如资源利用）的战略中的基本要素
- 允许行业证明其遵守新出台的法规和政策。

针对 CEN/TC 350，欧洲标准化委员会设计了一套标准，分三个层级实施，分别是框架层级、建筑层级和产品层级。每个层级通过不同的特定标准来涵盖环境、社会和经济问题的各个方面。这些标准基于并纳入欧洲标准化委员会和国际标准化组织的现有标准，涉及危险物质、建筑能效和可持续性以及废弃物等。

欧盟委员会的愿景，是将 CEN/TC 350 纳入国家建筑法规以及自愿性建筑评价、认证和评级计划中加以实施。一些商业基准计划业已参考 CEN/TC 350 标准。

应当指出的是，欧洲标准属于自愿性质，意味着没有自动实施该等标准的法定义务，但法规可能会参考此标准并且强制要求符合该标准。

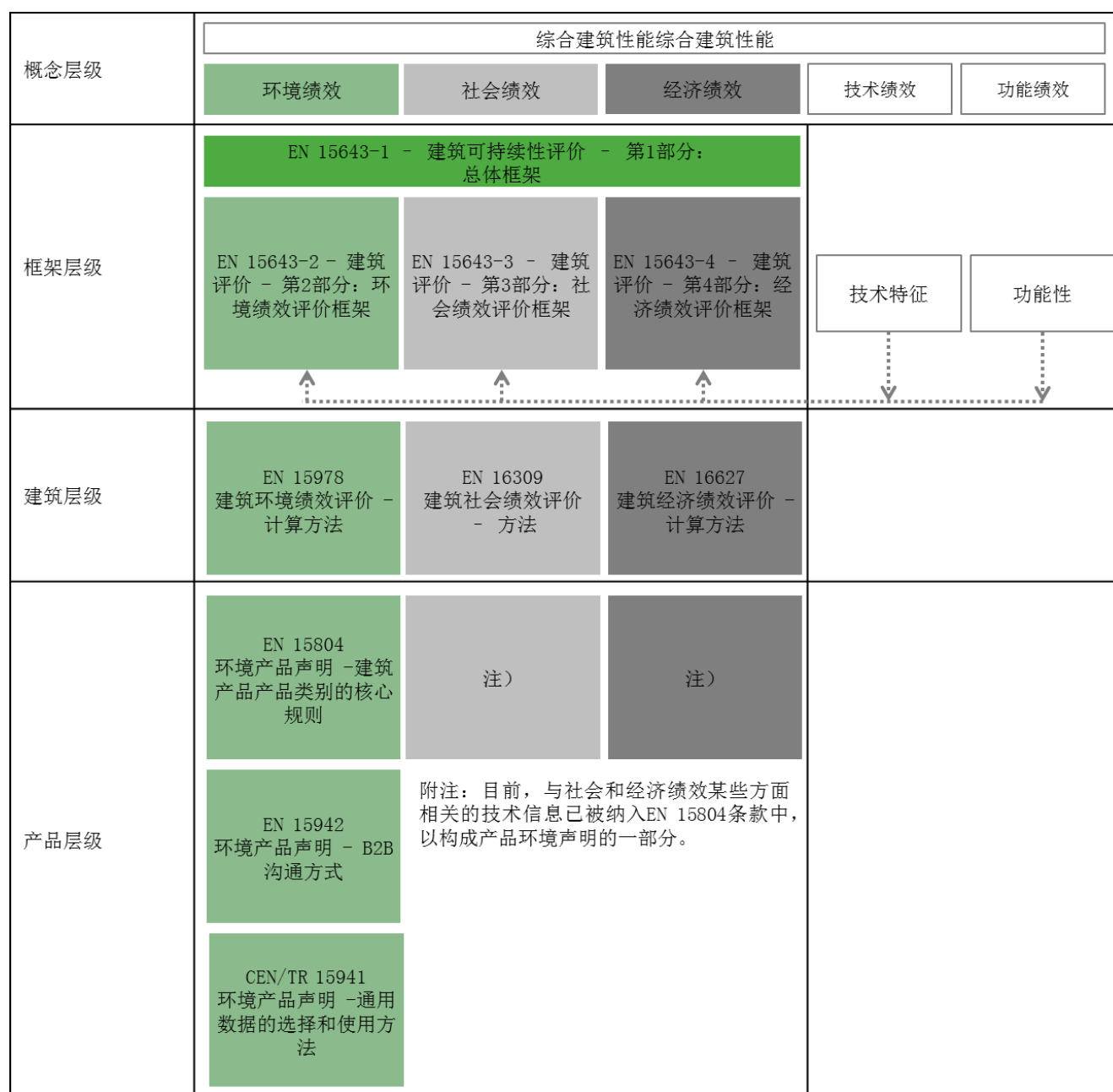


图 2：CEN/TC 350 在框架、建筑和产品层级的不同实施水平

资料来源：UN-HABITAT 2017 p.28

在框架层面指导 CEN/TC 350 的是通用标准：

- EN 15643-1 - 建筑可持续性评价 - 第 1 部分：总体框架

同样在框架层面，其次是环境、社会和经济绩效标准：

- EN 15643-2 - 建筑评价 - 第 2 部分：环境绩效评价框架
- EN 15643-3 - 建筑评价 - 第 3 部分：社会绩效评价框架
- EN 15643-4 - 建筑评价 - 第 4 部分：经济绩效评价框架

第二层面是建筑层面，也分为环境、社会和经济绩效标准：

- EN 15978:2011 - 建筑环境绩效评价 - 计算方
- EN 16309:2014 - 建筑社会绩效评价 - 方法
- EN 16627:2015 - 建筑经济绩效评价 - 计算方法

在产品层级面，只有被归入环境绩效的标准，不过社会和经济绩效的一些方面被纳入 EN 15804 标准。

- EN 15804:2012+A1:2013 - 环境产品声明：建筑产品产品类别的核心规则
- CEN/TR 15941:2010 - 环境产品声明：通用数据的选择和使用方法
- EN 15942:2011 - 环境产品声明：B2B 沟通方式

2.1.2.1 EN 15643-1:2010 - 建筑可持续性评价 - 第 1 部分：总体框架

就环境、社会和经济绩效而言，本欧洲标准考虑了建筑的技术特点和功能，提供了建筑评价的一般原则和要求。评价将量化被评价建筑工程对可持续建设和可持续发展的贡献。该框架适用于所有建筑类型，关乎评价新建建筑在其整个生命周期内的环境、社会和经济绩效，以及既有建筑在其剩余使用寿命内和生命周期结束阶段的环境、社会和经济绩效。在该框架下制定的标准未确立不同评价方法体系如何提供评估方法的规则，也未规定衡量绩效的水平、等级或基准。

本标准为评价提供了总体框架。本标准涉及可持续施工现场，为包括施工阶段在内的可持续建设提供框架。建筑公司需要理解这一点，方能使其工程更具可持续性。

2.1.2.2 EN 15643-2:2011 - 建筑评价 - 第 2 部分：环境绩效评价框架

本欧洲标准提供评价建筑环境绩效的具体原则和要求，同时考虑了建筑的技术特点和功能。环境绩效评价是 EN 15643-1 总体框架下建筑可持续性评价的一个方面。

建筑公司应当了解该标准影响建筑工地可持续过程的方面。

2.1.2.3 EN 15643-3:2012 - 建筑评价：社会绩效评价框架

本欧洲标准提供评价建筑社会绩效的具体原则和要求，同时考虑了建筑的技术特点和功能。该框架关乎评估新建建筑在其整个生命周期内的社会绩效，以及既有建筑在其生命周期结束时的社会绩效。

建筑公司应当了解该标准影响建筑工地可持续过程的方面。

2.1.2.4 EN 15643-4:2012 - 建筑评价：经济绩效评价框架

本欧洲标准提供评价建筑经济绩效的一般原则和要求，同时考虑了建筑的技术特点和功能。经济可持续性评价，从经济角度衡量评价对象在打造可持续建筑和实现可持续发展方面的贡献。

建筑公司应当了解该标准影响建筑工地可持续过程的方面。

2.1.2.5 EN 15978:2011 - 建筑环境绩效评价。计算方法

本欧洲标准规定了基于生命周期评价（LCA）和其他量化环境信息的计算方法，以评估建筑环境绩效，并且提供报告和传达评价结果的方法。本标准适用于新建和既有建筑及改造项目。本标准提供：

- 评价对象的说明
- 应用于建筑层级的体系边界
- 用于清单分析的程序
- 指标清单和该等指标的计算程序
- 针对报告和传达中演示结果的要求
- 针对计算所需数据的要求

评价方法涵盖建筑生命周期的所有阶段，基于从环境产品声明（EPD）获得的数据、其“信息模块”（prEN 15804）以及进行评价所需且相关的其他信息。评价包含所有与建筑相关的建筑产品、工艺及服务。评价结果的解释和价值判断不在本欧洲标准的范围内。

该标准对施工阶段的评价起着一定作用。这一评价与施工阶段相关，因为它有助于规定许多技术和功能要求。施工现场的材料和技术，包括其对环境的影响，也是评价的基础。例如，通过使用环境产品声明宣布的可持续材料等。此外，为完成评价，建筑公司的可持续性管理人员需要进行施工监测和报告。

2.1.2.6 EN 16309:2014 - 建筑社会绩效评价 - 方法

本标准提供评价建筑社会绩效的具体方法和要求，同时考虑了建筑的功能和技术特点。

在本标准第一版中，可持续性的社会维度集中于评价建筑使用阶段的方面和影响，采用以下社会绩效类别（源自 EN 15643-3）表示这些方面和影响：

- 可达性
- 适应性
- 健康性和舒适性
- 对居住区的影响
- 维护
- 安全和安保。

本标准未确立建筑评价计划如何提供评估方法的规则，也未规定绩效的水平、等级或基准。

与施工阶段相关的领域主要包括建筑的适应性、材料和服务的维护及采购，即建筑公司能够确保内墙可移动或易拆除，而非永久性。其它方面还包括建筑公司能够采取措施进行维护，以使用更耐用、更可持续的材料，或使建筑维护更容易的施工细节。从可持续来源，采购的材料必须是可持续。这一评价与施工阶段相关，因为它有助于规定许多技术和功能要求。

2.1.2.7 EN 16627:2015 - 建筑经济绩效评价 - 计算方法

本欧洲标准提供了评价新建和既有建筑经济绩效的计算规则，经济绩效评价是建筑可持续性评价的一部分。本标准对欧洲标准 EN 15643-4 作了补充。

本标准描述了计算建筑生命周期现金流量的方法和规则，重点介绍生命周期成本法。本标准纳入 ISO 15686-5 中制定的原则，但已针对欧洲范围内的可持续性评价对这些原则作出修改。

本标准描述了计算经济绩效的两种方法：

生命周期成本核算：经济绩效在生命周期中以成本表示，考虑与能量输出有关的负成本，以及建筑各部分在其生命周期内和生命周期结束时的再利用和回收利用产生的负成本。为遵守本标准规定，强制要求计算该指标。

生命周期经济平衡：生命周期成本核算（参见上文）以及生命周期内和生命周期结束时的收入。为遵守本标准规定，不强制要求计算该附加指标。

施工阶段的成本在确定生命周期成本方面很重要。建筑公司必须关注材料的可持续方面，例如，廉价材料从长远来看或许不可持续。此外，建筑公司必须为评价工作提供成本信息。

2.1.2.8 EN 15804:2012+A1:2013 - 环境产品声明。建筑产品类别的核心规则

本欧洲标准为任何建筑产品和施工服务提供 III 类环境声明的核心产品类别规则（PCR）。备注：本标准不包括对产品层级社会和经济绩效的评价。核心产品类别规则：

- 规定将要声明的参数以及针对这些参数的整理和报告方式
- 描述环境产品声明考虑了产品生命周期的哪些阶段，哪些过程将被纳入生命周期阶段
- 设定情景开发规则
- 纳入计算构成环境产品声明之基础的生命周期清单和生命周期影响评价的规则，包括将要应用的数据质量的规格
- 必要时，纳入报告预先确定的，关于产品、施工工艺及施工服务的环境和健康信息（生命周期评价未涵盖）的规则
- 根据环境产品声明提供的信息，规定可比较建筑产品的条件
- 对于施工服务的环境产品声明，针对建筑产品的环境产品声明的规则和要求同样适用

这与施工阶段直接相关，因为该标准为环境产品声明提供了框架。其实施对建筑公司很重要，尤其在确定所用材料的可持续性时。除非自行生产建筑产品，否则与建筑公司没有直接关系，不过建筑公司必须理解这一点，因为其直接关系到施工阶段所用产品的可持续性。

2.1.2.9 CEN/TR 15941:2010 - 环境产品声明。通用数据的选择和使用方法

本技术报告支持编制环境产品声明。本技术报告帮助按照核心产品类别规则（EN 15804），在建筑产品、工艺及服务的环境产品声明的编制过程中以一致方式使用通用数据，并且根据 EN 15978 在建筑环境绩效评价中应用通用数据。

本标准的应用与施工阶段相关，因为其中针对环境产品声明以及材料和技术的可持续性确立了框架。建筑公司应当对此知晓，并且理解这一点。

2.1.2.10 EN 15942:2011 - 环境产品声明。B2B 沟通方式

本欧洲标准适用于与建筑和工程有关的所有建筑产品及服务。为确保通过一致的信息沟通达成共识，本标准规定并描述了 FPREN 15804 中规定的，用于 B2B 沟通的内容沟通方式。本欧洲标准不涉及企业与消费者之间的沟通。

除非自行生产建筑产品，否则与建筑公司没有直接关系，不过建筑公司必须理解这一点，因为其直接关系到施工阶段所用产品的可持续性。

2.2 欧洲可持续建筑标识

针对可持续建成环境，欧洲有不同的评价和认证系统。尽管这些系统在很大程度上具有可持续性标准的共同基础，例如生态、经济和社会文化质量，但难以对其进行比较。这是因为所用标准和关键指标的细节有所不同，一些细节可能未被发现，分析深度不同，而且生命周期内测量的阶段和时间长短也不同。只有采用标准化形式计算和表示单个影响指标的标准，方能建立客观的比较基准。所选体系还需考虑其使用环境，例如用于办公室或仅用于居住建筑。其中一些系统具有规定性，而其它更注重绩效。针对可持续建设阶段，不同标签通过标准特征提供指引和支持。它们还可用作施工阶段质量保证的指导方针和工具，例如选择建筑工地可持续工艺的材料。必须指出的是，特别是对于基于绩效的体系，与任何工具的评价方法一样，预测绩效与使用中的实际绩效之间始终存在一定差距。

本报告研究的两个欧洲专有体系是：德国可持续建筑评价体系和英国建筑研究院环境评价体系（BREEAM）。这两个体系均有一个中央认证机构、一个计算工具以及数据库。

BREEAM

英国建筑研究院环境评价体系

BREEAM®

DGNB

德国可持续建筑评价体系

DGNB
Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
German Sustainable Building Council

主题：
管理
健康和福祉
能源
交通
水
材料
废弃物
土地利用和生态
污染

生态质量
经济质量
社会文化和功能质量
技术质量
工艺质量
位置（单独评价）

图 3：两个欧洲可持续建筑标签比较

根据欧盟政策和标准，欧洲的可持续建筑认证体系（包括德国可持续建筑评价体系和英国建筑研究院环境评价体系）大都已依照 CEN/TC 350 总体标准中使用的标准作出调整，参见图 4。

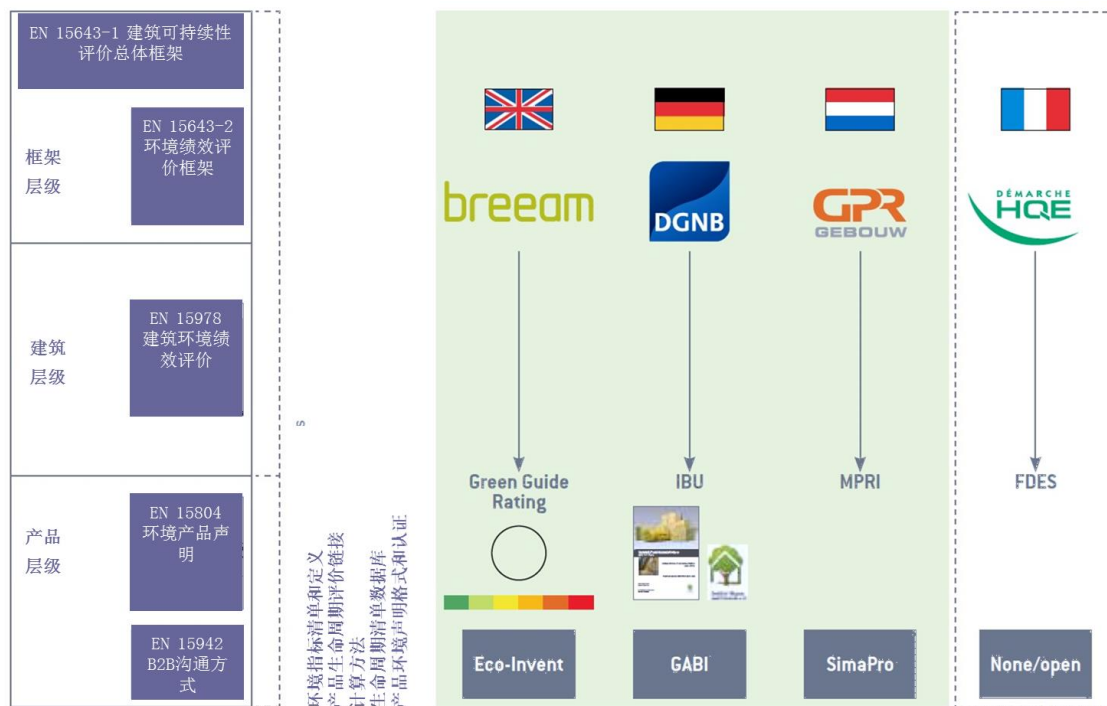


图 4：可持续建筑规范与 CEN/TC 350 比较

资料来源：EURIMA 2012 p.3

可持续性评估考虑对建筑工程或产品的整个生命周期的环境影响，以便能够提供公正完整的环境概况。

2.2.1 DGNB 德国可持续建筑评价体系

德国可持续建筑评价体系（DGNB）是由德国可持续建筑委员会（German Sustainable Building Council）开发的可持续建筑整体评价工具。

该体系是第二代认证体系，为不同建筑类型和城市地区提供客观描述并且全面评价可持续因素。该德国体系于 2009 年正式启动，2010 年升级为国际体系。目前，德国可持续建筑评价体系（2016 年 12 月统计数据）在 20 多个国家拥有 1200 多个成员和 2000 名合格专家。

德国可持续建筑评价体系并不规定单项措施，而是为评价建筑的整体性能设定目标。在此过程中，该体系在相关对象的整个生命周期中积极推广创新的建筑概念。它是目前唯一对工业建筑进行可持续性认证的体系。由于具有灵活性，该体系还能够精准地适应建筑的各种用途，甚至能够满足不同国家的特定要求。

德国可持续建筑评价体系分为铜、银、金和白金四个认证等级，其中铜仅面向既有建筑。就其认证而言，德国可持续建筑评价体系可在规划阶段或建筑施工完成后获得该体系认证。将预证书整合至设计和规划阶段，可及早优化施工、管理、转换和拆除的潜力，优化成本。该方法可让项目从一开始就关注质量，设定明确的可持续目标，并且提供指导方针，帮助提高所有相关主体的认识。

建筑公司和建筑师甚至可使用德国可持续建筑评价体系作为控制工具。该体系还常常被用作规划、建造、使用及运营建筑的质量管理体系。该体系也可被业主和规划师用作检查清单、决策和规划工具以及讨论和协商的基础。

德国可持续建筑评价体系包含易于理解的类别，这些类别涵盖可持续建筑的所有关键方面（经济、社会文化、环境）和功能方面（技术、工艺和场地）。在此，重点同样是整个生命周期以及在建工程用产品的长期质量。在每个类别中，对标准进行评估和评分，然后乘以权重，给出该类别的相关得分。各个类别在总体评价中占有不同份额。前四类在总体评价中均占 22.5% 份额。工艺质量类别占 10%，建筑工地自行评估。这使得德国可持续建筑评价体系具有以下优势：经济和技术方面（在“一般”建设中，只关注这些方面的细节），与建筑的生态和社会文化质量中以人为本的方面具有相同权重。

备注：在最新起草的德国可持续建筑评价体系 2018 年新版本中，权重略有变化：前三项占 22.5%，技术和工艺质量占 12.5%，场地质量占 5%。

尽管德国可持续建筑评价体系的各个方面均与施工工艺相关，但不同类别的指标之间存在许多相互影响和作用，与施工阶段关系最密切的三个方面是：

- PRO 2.1 - 建造过程
- PRO 2.2 - 建筑工程的质量保证
- PRO 2.3 - 有序调试

以下简要概述不同标准与施工阶段的相关性：

编号	德国可持续建筑评价体系标准	直接相关	与施工阶段的联系
PRO 10	工艺质量		
PRO 1.1	项目准备和规划	有条件	目的是建立透明的规划过程，以实现可能的最佳可持续水平。在本环节做出的决定将会影响施工阶段。
PRO 1.3	规划中的概念和优化	有条件	本环节的目标是优化建筑质量。在本环节做出的决定将会影响施工阶段，包括使用的施工工艺、建筑的可回收性以及建筑的维护友好性。
PRO 1.4	投标阶段的可持续性方面	是	在本环节决定建筑施工中使用的材料和技术。规划师可在本环节确定将要使用的材料。同样，建筑公司可通过更好的替代方案更好地满足这些要求。当然，这方面的举措要受到控制。
PRO 1.5	设施管理文件	是	在本环节提供使用阶段和设施经理所需的文件。此项工作非常重要，因为在本环节，应当记录关于材料、技术和施工技术的所有信息。这将确保具有可持续发展潜力。此项工作影响后续环节：能耗、维护、建筑的租户使用等。
PRO 1.6	城市规划和设计方法	序号	不适用
PRO 20	施工质量		
PRO 2.1	施工现场/施工工艺	是	本环节决定可持续施工阶段，其环境影响、施工阶段废弃物数量的最小化及其回收利用。这是施工阶段可持续性相关度最高的方面之一，对建筑公司而言尤其如此。标准包括：低废弃物数量、低噪声、低粉尘浓度以及环保型施工现场，包括水土保持。
PRO 2.2	施工质量保证	是	本环节的目的是实行全面的文件记录和质量控制，以确保进行可持续施工，并且确保建筑施工缺陷保持在最低限度。这是施工阶段可持续性相关度最高的方面之一，对建筑公司而言尤其如此。本环节记录并控制所有材料和技术，包括 ENV 1.1 中未涵盖的材料。此外，可持续材料和技术的使用并不能保证可持续施工阶段或建筑，因为技能和工艺也需要达到可持续性标准。在本环节，质量控制、现场视察和文件记录有助于确保达成以上目标。
PRO 2.3	系统调试	是（部分）	在本环节，建筑内所有已实施技术，包括功能和协议测试的信息，均须传递给设施经理，以保证建筑顺利启用。
ENV 10	对全局和局部环境的影响		

ENV 1.1	生态平衡 - 与排放相关的环境影响	是	本环节的目标是面向生命周期的规划，该规划旨在减少所有阶段与排放相关的环境影响。在施工阶段，通过施工工艺（现场使用材料或现场生产），以及使用阶段中使用材料和技术可能会直接影响环境质量，进而影响建筑。通过获得认可的环境产品声明（如 ÖkoBauDat）使用可持续材料起着关键作用。
ENV 1.2	局部环境影响	是	本环节的目标是减少、去除或替代所有对环境有害的材料及其生产活动，包括辅助材料。这对施工阶段而言特别重要，例如，使用不可持续材料过程中产生的毒素可能进入生物系统，而在用机器的臭氧消耗产品能够进入大气。在本环节，管控高风险材料颇为重要。其中一个相关方面是材料中的挥发性有机化合物。实施本环节期间，必须列出、检查并记录所有进入现场和/或现场使用的材料。
ENV 1.3	环保材料生产	是	本环节的目标是使用在采购、生产和加工方面可持续的材料。采购材料的承包商需要确保这些材料的来源具有可持续性，并加贴标签，如森林管理委员会（Forest Stewardship Council）或 Fair Stone。
ENV 20	资源利用和废弃物产生		
ENV 2.1	生命周期评价 - 资源消耗	是	本环节考察建筑的整个生命周期。建筑建造期间使用的资源（材料）在本环节起着一定作用。应当使用可持续材料，通过环境产品声明证明这一点至关重要。本环节还考察施工现场的废弃物和可回收性。生产和施工阶段使用的能源，在确定与生命周期评价相关的能耗方面也起着一定作用。施工现场的能效越高，效果越好。
ENV 2.2	饮用水需求量和废水量	否	不适用（不过应当在施工现场落实可持续用水。）
ENV 2.3	土地利用	否	不适用（不过在施工阶段，应当注意避免通过搬运和压实土壤等影响工地）
ECO 10	生命周期成本		
ECO 1.1	与建筑相关的生命周期成本	是	在本环节，施工阶段的成本、材料、技术和工艺在确定生命周期成本方面起着直接作用，例如，从长远来看廉价材料或许不可持续。
ECO 20	价值保留		
ECO 2.1	第三方使用的灵活性和适用性	否	不适用
ECO 2.2	适销性	否	不适用

SOC 10	健康性、舒适性和用户满意度		
SOC 1.1	热舒适性	有条件	在本环节，施工阶段的目标是根据可持续需求建造建筑。（仅通过质量控制间接关系）
SOC 1.2	室内空气质量	有条件	通过在施工阶段使用不合格材料（建筑和辅助材料），使用阶段的空气质量可能会受到挥发性有机化合物（VOC）的影响。如果在测试的后期阶段发现此类问题，建筑公司可能会为纠正这种情况付出高昂代价。
SOC 1.3	声学舒适性	有条件	（仅通过质量控制间接关系）
SOC 1.4	视觉舒适性	有条件	（仅通过质量控制间接关系）
SOC 1.5	用户对建筑运行的影响	有条件	不适用（承包商必须传达关于已采用技术及其可持续使用的信息）
SOC 1.6	室内/室外空间质量	否	不适用
SOC 1.7	安全和安保	否	不适用
SOC 20	功能		
SOC 2.1	残疾人可达性	否	不适用
SOC 2.2	公共通道	否	不适用
TEC 10	技术执行质量		
TEC 1.2	室内声学和隔音	有条件	不适用（仅通过质量控制间接关系）
TEC 1.3	建筑围护结构质量	有条件	在本环节，施工阶段的目标是根据可持续需求建造建筑。通过鼓风门测试等进行质量控制。为实现这一目标，需要基于优质可持续建筑标准进行施工，例如通过采用具有良好气密性的外立面或合适的热桥解决方案。
TEC 1.4	技术系统适应性	否	不适用
TEC 1.5	清洁和维护的便利性	是	应当制定施工技术，以确保减少维护需求，降低清洁难度。可采用的技术：通过防锈防潮持续保护材料，施工解决方案，如滴水线，使用地板（如带花纹）或立面材料，这些材料的更换需求减少，同时易于进入构造上相关的结构。
TEC 1.6	拆除和回收利用的便利性	是	最迟在施工阶段确定拆除和回收利用的便利性。应当选择具有高回收利用价值的材料和建筑施工工艺。所用材料的建造过程均应以易于分离和回收利用为原则。材料、施工和技术信息应当形成文件并提供给业主/设施经理。在可能的情况下，建筑公司应当确保材料和技术生产商在生

命周期结束时收回材料或实施材料回收利用系统（“材料租赁”或“材料库”）。

TEC 30	交通出行		
TEC 3.1	交通出行基础设施	否	不适用
SITE 10	场地质量		
SITE 1.1	场地区位条件	否	不适用
SITE 1.2	公共形象与社会条件	否	不适用
SITE 1.3	交通配套	否	（备注：尽管本环节与施工阶段几乎没有直接关系，但建筑的优越区位会积极影响工人的交通成本。）
SITE 1.4	特定用途设施通道	否	不适用

2.2.2 BREEAM - 英国建筑研究院环境评价体系

英国建筑研究院环境评价体系（BREEAM）是全球历史最悠久的可持续建筑评价体系。英国建筑研究院环境评价体系由英国建筑研究院（BRE）于 1990 年开发，是规模最大、广受认可的可持续建筑评价体系之一。自 1990 年以来，已有 77 个国家的 54 万多个发展项目和 223 万幢建筑完成注册评估。不过必须指出的是，其中大约一半位于英国，95% 位于欧盟。

目前，英国建筑研究院环境评价体系可用于：

- 办公楼
- 零售建筑
- 教学建筑
- 医疗保健建筑
- 同时提供非标准建筑定制评价

英国建筑研究院环境评价体系的宗旨是减少建设和开发对环境的负面影响。通过其可持续性方法，英国建筑研究院环境评价体系鼓励相关主体通过提高可持续性意识，以节能、低碳和低影响的设计进行建造。作为可持续建筑工具，该体系可有效用于指导高成本效益的可持续建筑解决方案。此外，该体系还为市场提供了易于识别的建筑质量和性能标签。在对建筑进行评估时，英国建筑研究院环境评价体系使用公认的性能测量指标（根据既定基准）来评估建筑的规范、设计、构造及使用。建筑可由持有执照的独立评估人员分两个阶段进行认证：

- 设计阶段 - 完成英国建筑研究院环境评价体系中期认证
- 后期施工阶段 - 完成英国建筑研究院环境评价体系最终认证

所采用的措施代表从物质、能源到生态的各种类别和标准，分为以下类别：管理，健康和福祉，能源，交通，水，材料，废弃物，土地利用和生态，污染，创新。

对每项标准进行评分，然后乘以权重。达到最低门槛后，建筑可按照英国建筑研究院环境评价体系的“通过”、“良好”，“优秀”、“优异”和“杰出”标准获得认证。英国建筑研究院环境评价体系另有国际版本。

2016 英国建筑研究院环境评价体系国际新型建筑（BREAM International New Construction 2016）专注于 57 个评价问题。与德国可持续建筑评价体系一样，该体系未设置专门针对施工阶段的类别。以下简要概述不同标准与施工阶段的相关性：

英国建筑研究院环境评价体系标准	相关	与施工阶段的联系
管理		
项目简介和设计	是	本环节鼓励在包含所有相关主体的可持续建设中实行整体设计方法。其中包括：安装和施工要求及限制，施工现场的健康和安全，采购和供应链以及沟通策略。在本环节，必须展示如何达到建筑，包括施工阶段的可持续性要求。建议指定负责监测进展的可持续性“卫士”。
生命周期成本和使用寿命规划	是	在本环节，施工阶段使用的材料和技术及其不同成本回流到生命周期成本分析中。
负责任的施工实践	是	施工阶段相关度最高的标准之一，鼓励可持续管理，并以负责任的方式管理施工现场。包括健康和安全、可持续木材使用，建筑公司实施环境管理体系（EMS），噪声控制，粉尘浓度最小化，废弃物控制，实施包括水资源管理在内的污染预防，监测以及可持续性“卫士”以文件形式记录工地状况。同时还测量并记录水、能源和交通运输的使用、消耗和排放情况。此外还进行园林绿化、等高线描绘和植被恢复、水流失以及适当储存。
调试和移交	是	本环节所使用的技术和调试信息需要传达给业主或设施经理。还包括质量控制，如红外热成像或鼓风机测试和建筑测试。施工阶段的质量管理可减少返工，从而减少不必要的额外成本。
养护	是	在本环节，必须对建筑进行养护，以确保建筑在其建造期间的可持续环境下运行。这通常要求建筑公司对建筑进行入住后评估，以纠正可能发生的任何问题。建筑公司必须花费时间和金钱消除所发现的任何缺陷。
健康和福祉		
视觉舒适性	有条件	在本环节，施工阶段的目标是根据可持续需求建造建筑。（仅通过质量控制间接关系）
室内空气质量	有条件	通过在施工阶段使用不合格材料（建筑和辅助材料），空气质量可能会受到挥发性有机化合物的影响。此类问题关系重大。如果在测试的后期阶段发现此类问题，建筑公司可能会为纠正这种情况付出高昂代价。
实验室安全封隔	有条件	在本环节，施工阶段的目标是根据可持续需求建造建筑。（仅通过质量控制间接关系）
热舒适性	有条件	在本环节，施工阶段的目标是根据可持续需求建造建筑。（仅通过质量控制间接关系）

声学性能	有条件	在本环节，施工阶段的目标是根据可持续需求建造建筑。（仅通过质量控制间接关系）
可达性	否	不适用
危害	否	不适用
私人空间	否	不适用
水质	否	不适用
能源		
减少能源使用量和碳排放量	否	不适用（然而，与建筑一样，施工现场的能耗也应降至确保可持续性的必要水平。）
能源监控	否	不适用（然而，与建筑一样，施工现场的能耗也应受到监测，并根据需要完善相关信息。）
外部照明	否	不适用（然而，与建筑一样，建筑工地使用的照明也应降至确保可持续性的必要水平。）
低碳设计	否	不适用
节能冷藏	否	不适用
节能运输系统	否	不适用
节能实验室系统	否	不适用
节能设备	否	不适用（然而，与建筑一样，应当在建筑工地上使用节能设备。）
晾衣空间	否	不适用
交通运输		
公共交通可达性	否	不适用（备注：尽管本环节与施工阶段几乎没有直接关系，但建筑的优越区位会积极影响工人的交通成本。）
设施可达性	否	不适用
替代交通方式	否	不适用
最大停车位容量	否	不适用
出行规划	否	不适用
水		
水耗	否	不适用（然而，与建筑一样，施工现场的水耗也应降至确保可持续性的必要水

		平。)
水监测	否	不适用（然而，与建筑一样，施工现场的水耗也应受到监测，并根据需要完善相关信息。）
漏水检测	否	不适用
节水设备	否	不适用
材料		
生命周期影响	是	在本环节，施工阶段的信息，如使用的材料及其环境产品声明，需要用作建筑生命周期评价的参考。
硬质景观和边界保护	是	尽管不是英国建筑研究院环境评价体系的独立标准，但施工阶段对其影响相当大。在本环节，采取预防措施确保这些要素得以保存的可持续施工现场，将有助于确保保护现场的生物多样性。
负责任的材料采购	是	在本环节，建筑公司有责任根据招标和规范确保达到可持续材料的采购要求。所使用的材料均表明它们采购自可持续来源，例如森林管理委员会或 Fair Stone，并且加贴适当的环境产品声明标签。不应使用断开的材料链等。必须记录所有步骤。
保温	否	不适用（不作为独立问题评价）
耐久性和复原力设计	部分	采购材料和建筑材料的选择会极大地影响建筑的耐久性和复原力。应当制定施工技术，以确保减少维护或更换需求，降低清洁难度。
材料效率	是	本环节鼓励利用材料效率，以便在不损害结构完整性、耐久性或使用寿命的情况下尽量减少有限材料的使用。建筑公司应当使用创新技术，例如轻型横梁和地板。建筑公司应当与规划师及业主合作开展评价工作，并在可能的情况下为实施此类技术提出建议。此外，应在项目开始前举办研讨会，以提高所有主体的材料利用效率。
废弃物		
建筑垃圾管理	是	在本环节，应当制定建筑垃圾管理计划。此项工作应促进减少材料用量，否则应进行回收利用。为此，应当提供适当的储存和分离。应当尽可能使用制造商的回收计划。确保来自临时支撑结构的垃圾数量保持在最低限度，这一点也很重要。
再生集料	是	在本环节，建筑公司应当使用再生或二次集料，以此减少对有限原始资源的需求。
操作性废弃物	否	不适用
地板和天花板饰面	是	为了减少由于业主投机购买的饰面而导致租户重新装修房间，重要的是未来可能入住的租户尽早参与其中，以便建筑公司能够根据未来的资源可持续利用情况完工。

适应气候变化	否	不适用
功能适应性	部分	在本环节，所选材料、施工技术应当确保易于改变、拆建和更换，例如可移动内墙，而非永久性墙体。
土地利用和生态		
场地选择	部分	可考虑使用施工阶段使用，但使用阶段不使用的建筑工地的区域。在本环节，需要注意确保施工后尽可能恢复原始状态。应当保护非施工区域，以防止损坏和退化。
场地生态价值与生态特征保护	是	不应在具有生态价值的区域建造或将其用于施工现场目的。在本环节，应采取措施对此加以保护。此外，直接在建筑上的植物、树木、水道等其他特征，应当通过障碍物以及土壤压实和根部保护等加以保护。在可能的情况下，不得移除年龄超过 10 年或直径超过 100 毫米的树木。
尽量减少对既有工地生态的影响	否	不适用（不适用于英国建筑研究院环境评价体系国际新建筑）
改善工地生态环境	部分	如果不能充分保护本地区，应当采取措施改善其他地区的生物多样性。建筑公司应当确保离场时生物多样性状况如初（如果未能改善）。生物多样性管理应纳入施工阶段。
对生物多样性的长期影响	是	建筑公司在现场采取的措施不应影响长期生物多样性。对现场发现的受保护特征的管理最迟应在施工阶段开始时进行。总承包商应当任命一名生物多样性经理。总承包商应当对所有主体进行工地可持续运行和工地生态保护培训。必须记录所有措施。
污染		
制冷剂影响	否	不适用（然而，与建筑一样，应当使用建筑工地上使用的设备并进行维护，以防止制冷剂泄漏）
氮氧化物排放	否	不适用（然而，与建筑一样，选择任何供暖设备时，均应确保无或低氮氧化物排放）
地表径流	否	不适用（然而，与建筑一样，任何地表径流的设计均应避免对公共系统造成风险和影响，包括污染风险）
减少夜间光污染	否	不适用（然而，与建筑一样，夜间建筑工地的光污染应保持在最低限度）
减小噪声污染	否	不适用（然而，与建筑一样，建筑工地的噪声污染应保持在最低限度，其中包括具体工作时间和晚上“休息时间”的遵守情况）
创新		

创新

是

本环节旨在支持施工的创新可持续性进程。可是任何可持续材料、技术或工艺，用以提高施工现场或建筑的可持续性，并可作为更广泛行业的最佳实践进行复制和展示。

2.3 更多标准和准则

除了上述欧洲标准和可持续建筑系统之外，还有一些与可持续施工现场相关的国际标准。以下列出部分标准。

2.3.1 ISO 14000 环境管理

ISO 14000 是与环境管理相关的一系列标准，旨在帮助单位：

- 尽量减少其作业（过程等）对环境造成的负面影响（即对空气、水或土地造成的不利变化）；
- 遵守适用的法律、法规及其他环境要求；以及
- 持续改进以上方面。

ISO 14000 与 ISO 9000 质量管理类似，均关乎产品生产过程，而非产品本身。与 ISO 9001 一样，认证由第三方机构执行，而非由 ISO 直接授予。进行审计时，适用 ISO 19011 和 ISO 17021 审计标准。

ISO 14001 的要求是欧盟生态管理和审核计划（EMAS）的组成部分。生态管理和审核计划的结构和材料要求更高，主要涉及绩效改进、法律合规和报告职责。ISO 14001 的当前版本是 2015 年 9 月发布的 ISO 14001:2015。

ISO 14000 标准包括：

- ISO 14001 环境管理体系 - 要求及使用指南
- ISO 14004 环境管理体系 - 实施通用指南
- ISO 14006 环境管理体系 - 指南纳入生态设计
- ISO 14015 场地和组织的环境评估
- ISO 14020 系列（14020 至 14025）环境标志和声明
- ISO 14030 讨论生产后环境评估
- ISO 14031 环境绩效评估——指南
- ISO 14040 系列（14040 至 14049），生命周期评价（LCA）讨论生产前规划和环境目标设定。
- ISO 14046 为产品、工艺和机构的水足迹评价设定指南和要求。仅包括评价中影响水质的空气和土壤排放物。

ISO 14000 系列标准与建筑公司相关，因为该系列标准可帮助建筑公司在运营，包括施工现场过程中，推动可持续性。

2.3.1.1 ISO 14001:2015 环境管理体系 - 要求及使用指南

ISO 14001:2015 规定了环境管理体系的标准和认证方法。该标准制定了公司或组织在建立有效的环境管理体系过程中可遵循的框架。任何组织，无论其活动领域或所在行业，均可使用该标准。

使用 ISO 14001:2015 可保证公司管理层和员工以及外部利益相关方衡量并减小环境影响。

“《要求及使用指南》是受到最普遍认可的环境管理体系协议之一。该标准描述计划、实施、审查及改进过程和行动的连续循环，组织实施这些过程和行动，以此达成自身的业务和环境目标。持续改进的概念认识到会出现问题。承诺型组织从错误中学习，并且防止类似问题再次发生。”

ISO 14001 为建筑公司提供相关管理体系。使用 ISO 14001 还有助于公司提高资源效率，减少浪费并降低成本。此外，认证可用来显示合规性，并向有关外部主体保证可持续施工工艺。

2.3.1.2 ISO 14006:2011 - 环境管理体系 - 指南纳入生态设计

ISO 14006:2011 提供指南，帮助组织建立、记录、实施、维护和持续改进作为环境管理体系（EMS）一部分的生态设计管理。

ISO 14006:2011 面向按照 ISO 14001 实施环境管理体系的组织，但可帮助将生态设计集成至其他管理体系中。本指南适用于任何组织，无论其规模或活动如何。

ISO 14006:2011 适用于组织可控制和影响的与产品相关的环境因素。

ISO 14006:2011 本身并未确立具体的环境绩效标准，也不适用于认证目的。

该标准可帮助建筑公司通过实施环境管理体系来管理和减少其对环境的影响，从而实现更可持续的建筑实践。获得认证的建筑公司表明其实施可持续的商业方法。

2.3.1.3 ISO 14020 系列 (14020 至 14025) 环境标志和声明

本国际标准为制定及使用环境标签和声明制定了指导方针。本标准旨在将 ISO 14020 系列中的其他适用标准与本国际标准结合使用。目前，ISO 14020 系列中的其他标准包括 ISO 14021、ISO 14024 和 ISO/TR 14025。本国际标准不适用作认证和注册目的的规范。

除非自行生产建筑产品，否则该标准与建筑公司没有直接关系，不过建筑公司必须理解这一点，因为其直接关系到施工阶段所用产品的可持续性。

2.3.1.4 EN ISO 14040:2006 - 环境管理 - 生命周期评价 - 原则和框架

ISO 14040:2006 描述了生命周期评价 (LCA) 的原则和框架，包括：生命周期评价目标和范围的确定，生命周期清单分析 (LCI) 阶段，生命周期影响评价 (LCIA) 阶段，生命周期解释阶段，生命周期评价的报告和严格审查，生命周期评价的局限性，生命周期评价不同阶段之间的关系，以及价值选择和可选要素的使用条件。

ISO 14040:2006 涵盖生命周期评价 (LCA) 研究和生命周期清单 (LCI) 研究。该标准未详细描述生命周期评价技术，也未详细说明生命周期评价各个阶段使用的方法。

在确定目标和范围时，考虑生命周期评价或生命周期清单结果的预期应用，但应用本身不在本国际标准的范围内。

本标准提供了一个框架，可在该框架下评估建筑公司的建筑活动的可持续性。建筑公司需要理解这一点，方能使其工程更具可持续性。

2.3.2 ISO 15392 及相关建筑和土木工程可持续性国际标准系列

本套标准构成了解决建筑和土木工程（包括施工阶段）的可持续性具体问题和方面的基础。与其他类似标准一样，这些标准形成一个共同框架，彼此之间互为基础，在可持续性的三大支柱下进行划分，同时满足技术和功能绩效的要求。

	环境方面	经济方面	社会方面
方法基础	ISO 15392: 一般原则 ISO/TR 21932: 术语 ISO 21929-1: 可持续性指标 - 第1部分: 建筑指标开发框架和建筑核心指标		
建筑	ISO 21931-1: 建筑工程环境绩效评价方法的框架 - 第1部分: 建筑		
建筑产品	ISO 21930: 建筑产品的环境声明		

图 5: ISO 15392 及相关建筑和土木工程可持续性国际标准系列

资料来源: ISO 15392

2.3.2.1 ISO 15392 建筑施工的可持续性 - 一般原则

ISO 15392:2008 确定并确立了建筑施工可持续性的一般原则。该标准基于可持续发展概念，因为其适用于建筑和其他建筑工程从开始到结束的生命周期。本国际标准的目的是确定建筑施工可持续性的目标，并从这些目标中推导出一般原则。

ISO 15392:2008 适用于（单独和共同）建筑和其他建筑工程，以及与建筑和其他建筑工程的生命周期相关的材料、产品、服务和工艺。

ISO 15392:2008 未提供可作为可持续性要求的基础的水平（基准）。该标准无意为组织或其他利益相关方提供评价的基础。

该标准建立了国际公认的建筑施工可持续性原则，并为所需信息的传播奠定了共同基础。

2.3.2.2 ISO 21929-1:2011 建筑施工的可持续性 - 建筑指标开发框架和建筑核心指标

ISO 21929-1:2011 建立了一套核心指标，以考虑可持续性指标的使用和开发，以此评价与新建或既有建筑的设计、施工、运营、维护、改造以及生命周期结束相关的可持续性绩效。这套核心指标提供了一些措施，以此表示建筑对可持续性和可持续发展的贡献。这些指标代表影响与可持续性及其可持续发展相关的保护领域的建筑的各个方面。

本标准规定了承包商在施工过程中可持续性决策中所需的指标。例如，在采购可持续材料或监测可持续施工工艺所需的指标方面。

2.3.2.3 ISO 21930:2007 建筑施工的可持续性 - 建筑产品的环境声明

ISO 21930:2007 提供了建筑产品 III 类环境产品声明（EPD）的原则和要求。本国际标准包含更具体的要求，同时为 ISO 14025 补充了建筑产品的环境产品声明。

本国际标准为 ISO 14025 中针对建筑产品 III 类环境声明定义的产品类别规则提供了框架和基本要求。如 ISO 21930:2007 中所述，建筑产品的 III 型环境声明主要用于 b2b 沟通，但不排除其在特定条件下用于 b2c 沟通。

ISO 21930:2007 未规定制定 III 型环境声明计划的要求。III 型环境声明计划的要求见 ISO 14025。

工作环境未被纳入 ISO 21930:2007 中，因为这通常是国家立法的主题。ISO 21930 与 ISO 14025 类似，但专为建筑产品而设计。

除非自行生产建筑产品，否则该标准与建筑公司没有直接关系，不过建筑公司必须理解这一点，因为其直接关系到施工阶段所用产品的可持续性。

2.3.2.4 ISO 21931-1:2010 建筑施工的可持续性 - 建筑工程环境绩效评价方法的框架

ISO 21931-1:2010 为提高评价建筑及其相关外部（建筑）工程环境绩效的方法的质量和可比性提供了通用框架。

该标准确定并描述了在使用和开发新建或既有建筑的设计、施工、运营、维护和翻新以及拆除阶段的环境绩效评价方法时需要考虑的问题。

本标准提供了评估建筑公司的建筑活动可持续性的框架。建筑公司需要理解这一点，方能使其工程更具可持续性。

2.3.3 ISO 50001 能源管理标准

ISO 50001:2011 规定了建立、实施、维护和完善能源管理体系的要求。此类能源管理体系使组织能够按照系统的方法实现能源绩效，包括能效、能源利用和能耗的持续改进。

ISO 50001:2011 规定了适用于能源利用和消耗的要求，包括：测量、文件编制和报告、设备、系统、工艺的设计和采购实践以及有助于改进能源绩效的人员。

ISO 50001:2011 适用于所有可由组织监控和影响、影响能源绩效的变量。ISO 50001:2011 未规定关于能源的特定绩效标准。

ISO 50001:2011 的设计初衷是为独立使用，但可与其他管理体系协调统一或集成。

ISO 50001:2011 适用于任何希望确保其符合自身规定的能源政策并希望向他人证明的组织，这种符合性通过自我评估和符合性自我声明，或外部组织对能源管理体系的认证得到证实。

该标准可帮助建筑公司通过实施能源管理体系来管理和减少能源使用并降低能源成本，从而实现更可持续的建筑实践。获得 ISO 50001 认证的建筑公司表明其实施可持续的商业（能源）方法。

2.3.4 欧盟环境管理体系（EMAS）

欧盟生态管理和审核计划（EMAS）是一种高于 ISO 14000 的高级管理工具。该计划由欧盟委员会为公司和其他组织开发，用于评估、报告及改进其环境绩效。该计划在全球范围内适用，并向希望改善其环境绩效的所有类型的私人组织和公共组织开放。该计划涵盖所有经济和服务部门，适用于全球各地。生态管理和审核计划不包含针对建筑的具体要求，但建筑公司可使用其改善环境绩效。同样重要的是要注意，公司和组织的改进选择也可能涉及改善其所在的建筑。

生态管理和审核计划是市场上最可信、最强大的环境管理工具，超越环境管理体系国际标准 ISO 14001 的要求。在欧洲，该计划被视为全面遵守环境法规的保证。

为注册参加生态管理和审核计划，组织必须符合欧盟生态管理和审核计划条例的要求。目前，已有 4,600 多个组织和 7,900 多个场所注册参加生态管理和审核计划。

生态管理和审核使建筑公司能够展示实施可持续建筑实践，提高其可信度、透明度和声誉。实施有助于公司减少对环境的影响，加强法律合规和员工参与，并且节省资源和资金。

2.3.5 ISO / TS 12720:2014 - 建筑和土木工程的可持续性

ISO / TS 12720:2014 为在 ISO 15392 中详细阐述的建筑和土木工程可持续性的一般原则的应用提供了指导。该标准表明参与建筑工程的不同主体如何在决策过程中考虑该等原则，以增加建筑工程对可持续性和可持续发展的贡献。

ISO/TS 12720:2014 针对以下方面提供了循序渐进的方法：鼓励所有利益相关方在项目的各个阶段及其使用过程中应用一般原则，从建设决定和项目摘要的初步编制，到建筑工程的生命周期结束；通过提出关于一般原则的关键问题，帮助有关各方考虑和/或将可持续性思维纳入建筑或土木工程生命周期的所有阶段；理解应用一般原则的结果（效果）；以及根据所获得的经验开发最佳实践，并且产生持续改进过程。

ISO/TS 12720 为建筑公司在初始设计到完成工程的施工阶段应用可持续性的一般原则提供指导。

2.3.6 层级框架

欧盟可持续绩效评级领域的最新工具是层级框架（Level(s) Framework）。其面向在建设项目开发，包括拆建管理、提高意识以及可持续建筑知识方面发挥关键作用的关键主体。该工具是作为办公和居住建筑可持续性核心指标的自愿性共同框架而开发，用以测量其生命周期。该工具不是新的独立建筑认证体系，也不建立绩效基准，而是将单体建筑的环境影响与欧洲层面的资源优先级挂钩，尽可能使用现有 EN 和 ISO 标准。

层级框架是与行业及公共部门广泛协商的结果，侧重于各个领域的绩效指标，如温室气体排放量、资源和节水效率以及健康和舒适度。它旨在为可持续建筑的实践建立“共同语言”——将讨论对象从能源绩效转移到建筑全生命周期——从用于建造建筑的产品和材料的制造，到建筑的最终拆除和再利用和材料的回收利用。

该标准易于使用，面向不同群体，也可根据需要进行调整，以达到更高复杂层级，例如从最基本的要求到使用更具挑战性的绩效评价方案和工具。这使框架能够：

- 提供简单起点，将可持续性和生命周期思维引入项目；
- 聚焦数量可管理的、有助于达成环境政策目标的基本概念和指标；
- 支持优化建筑设计及其操作工作，聚焦数据精度、计算方法和仿真；
- 支持在测量性能和居住者满意度方面尽量缩小设计与实际性能之间的差距；
- 支持从建筑设计阶段到运行和占用始终跟踪性能的承诺；

- 在地理区域或业务组合中的建筑之间进行比较，或在早期阶段的备选设计方案之间进行比较；
- 允许用户根据用户的不同优先级和目标选择绩效计算和报告方式方面的三个不同层级的全面性；
- 确保用户在使用这些指标时，遵照欧盟通用的绩效评价方法和标准，以补充和加强现有计划；

测试阶段于 2017 年秋季启动，持续至 2019 年。

层级框架为建筑公司，特别是施工经理和主承包商提供了必要的框架，使其能够以易用的方式，在简单架构中优先关注施工的可持续性。例如，通过关于如何进行准确的绩效评价的指导性说明。此外，它通过监测和设计绩效检查，确定建筑公司在可持续施工质量保证中的作用。与其他标准和框架一样，该标准还包括优化材料使用的指导方针，包括废弃物减量和回收利用、施工现场的可持续材料使用以及可持续施工作业。

2.3.7 《促进废弃物闭合循环管理及确保环境相容的处置废物法》（KrWG）

在建设可持续发展环境的过程中，欧盟不仅关注施工过程，而且还通过《欧洲废弃物管理指令》（2008/98 / 欧盟委员会指令，AbfRRL）推动废弃物管理。废弃物管理已被纳入德国《促进废弃物闭合循环管理及确保环境相容的处置废物法》（KrWG）。该法旨在通过加强废弃物预防和回收利用实现环境和气候保护的可持续改进，以及废弃物管理中资源效率的持续提升。

特别是，该法要求废弃物产生者和所有者承担全部责任，使它们的废弃物得到适当、无害的回收利用，并且尽可能提高回收利用率。（在此，无害意味着保护人类和环境，尤其是土壤和地下水）。这部法律对德国建筑业的意义往往被建筑公司大大低估。任何建筑商、运输商、挖掘商、拆建承包商等，均可能以任何形式存在于《促进废弃物闭合循环管理及确保环境相容的处置废物法》规定的垃圾生产商和/或垃圾所有者的位置上，因此必须履行适当、无害的利用义务。例如，每次挖掘（除非其直接在原地再利用）均受《促进废弃物闭合循环管理及确保环境相容的处置废物法》范围的限制。即使建筑瓦砾和挖掘物的运输作业也须通知有关当局。

无论移动式还是固定式矿渣的处理和储存，均须符合《联邦污染控制法》（Federal Pollution Control Act）的许可要求。废弃物的原地处理或储存仅允许至少 12 个月时间，没有例外。

需要保留登记簿和证据，以履行当局的信息义务。不过，废弃物生产者和所有者的义务并不以废弃物或处置活动转移给分包商或矿场经营者（第三方）而告终。责任一直持续到最终完成利用或最终安全、妥善堆放。因此，认真选择分包商和负责处置的公司，以及验证是否符合所有法律要求，至关重要。

未能遵守《促进废弃物闭合循环管理及确保环境相容的处置废物法》的要求将被视作行政违法行为，可能受到严厉处罚。

《欧洲废弃物管理指令》和德国《资源回收再利用法》规定了建筑公司必须如何处理和回收废弃物，并使其对此负全责。通过促进包括废弃物减量和再循环在内的资源可持续利用实现以上目标。此外，这两部法规还促进只在必要情况下使用材料，保持低浪费水平或免收废弃物处置费用，以此节约资金。

2.4 可持续产品标识

为了确定建筑的可持续性，必须首先确定其材料的可持续性。有关材料和技术的环境绩效信息应由生产者提供，以便相关主体使用这些信息开展评价工作。必须以透明方式进行评价，并在可能的情况下采用经独立验证的生命周期评价。通过自愿贴标产品，制造商还有可能进一步消除对其产品在健康和环境安全方面要求的顾虑。

2.4.1 生态标识和环境产品声明

规定标签实践标准时，国际标准化组织 ISO 创建了 ISO 14000 系列标准（参见第 2.3.1 章）。可根据类型对这些标准进行分类：

- 类型 I - 生态标签（例如蓝色天使）
 - 基于多种标准的自愿性第三方计划，颁发许可证，基于生命周期考虑，授权在产品上使用环境标签，以说明产品类别内的产品的总体环境可持续性
- 类型 II - 自我声明
 - 信息性环境自我声明
- 类型 III 环境产品声明（EPD）。
 - 提供产品量化环境数据的自愿计划，根据合格第三方预先设定的参数类别，基于生命周期评价，并由该第三方或另一合格的第三方验证

环境产品声明（EPD）是可持续建设领域使用的宝贵工具。环境产品声明提供关于建筑材料的环境绩效、生产过程、产品链的标准化信息，以及有关内容、污染物和关键环境影响等信息。

为了确保对标准形成共同认识，必须使用明确的规则和统一的计算方法。例如，在统一的欧洲标准 EN 15804 中规定了关于为建筑产品和材料创建环境产品声明的核心规则。这为基于一套 24 个指标的环境产品声明的应用提供了核心产品类别规则，并且提供了符合要求的方法背景。

结合 EN 15978（建筑环境绩效的计算方法），它提供了衡量和报告影响的统一方法。这些标准为环境产品声明评价工具提供了具体指导，以便能够基于其方法论，并使其能够彼此协作。

在欧洲，环境产品声明的开发工作主要由市场力量引导。这主要归因于标签计划和消费者意识的市场成熟度。许多成熟的类型-1 标签反映了这一点。以下类型 1 是现有标签的示例：

- 蓝色天使（德国环保产品和服务生态标签）
- 欧盟生态标签（欧洲环保产品和服务生态标签）
- 奥地利建筑与生态研究所 IBO 测试标志（奥地利建筑材料和室内装饰用建筑生物学和建筑生态学测试标志）
- 德国质量保证确认协会
- 森林管理委员会
- 从摇篮到摇篮
- 地板安装材料、粘合剂及建材排放物控制协会（GEV-Emicode）

一些欧盟成员国已通过国家立法，规定依照 EN 15804 管理环境产品声明。例如，法国和比利时强制规定建筑材料必须符合 EN 15804 标准。另外，还有许多平台提供了广泛涵盖各类材料和技术的完整数据库。这一工具由行业驱动。与单一环境产品声明一样，对标准化和共同认识的需求促成了欧洲行业协会 ECO 平台的建立。



图 6：环境产品声明示例，FSC, Blaue Engel, Cradle to Cradle, EPD Ireland

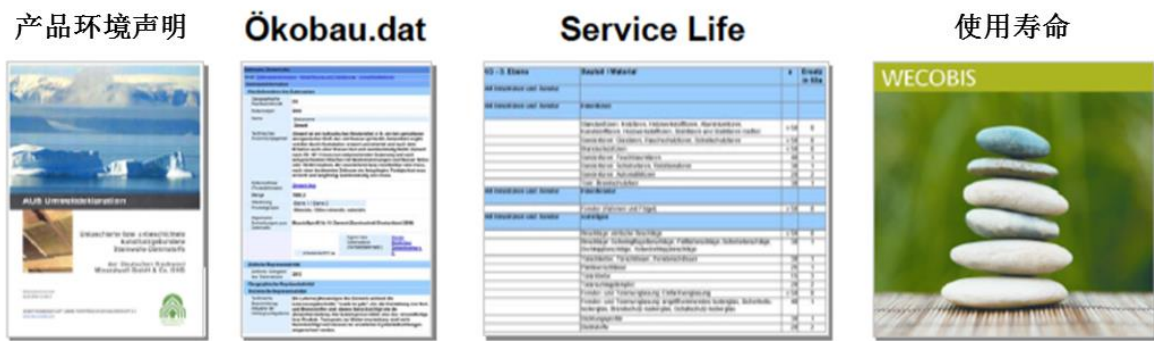


图 7: 环境产品声明数据库示例, EPD, Ökobaudat, Service Life, WECOBIS

尽管这是一个值得信赖的机制，但其提供的信息以及环境产品声明提供的环境完好性认证仍然存在缺陷，导致其常常给制造商带来额外成本。特别是由于制造商必须为同一产品准备多个环境产品声明，以满足不同市场/细分市场和客户的需求。

2.4.1.1 最佳实践范例——材料数据库-ÖKOBAUDAT

德国在线建筑材料数据库 ÖKOBAUDAT 是欧洲材料数据库的一个知名范例。ÖKOBAUDAT 是“未来建筑”(Future Building)研究计划的一部分,由奥地利建筑与生态研究所、卡尔斯鲁厄理工学院应用计算机科学研究所、okworx 和 Online Now!有限公司携手德国建材行业共同开发。

该数据库提供以下信息：建筑材料在不同方面，例如资源利用的生态平衡，以及造成温室效应、酸雨、雾霾、富营养化等的全球生态影响。数据质量高，在不同产品系列之间实现统一，并且提供生态平衡数据以及使用 and 开发路径。因此，使用此类材料和产品的建筑的生态质量可靠。

ÖKOBAUDAT 提供产品系列（通用）以及基于环境产品声明的产品特定数据、生态平衡工具，如 eLCA。ÖKOBAUDAT 中的所有数据均符合 DIN EN 15804 标准，并且经过独立第三方验证，使其成为可靠、安全的环境和健康相关建筑产品信息的数据源。

此外, 还可从 ÖKOBAUDAT 在线数据库中为生命周期评价工具导出生命周期分析数据。通过在线界面, 还可使用渐进式生命周期分析工具等第三方工具直接从 ÖKOBAUDAT 查询/导入。

2.4.1.2 最佳实践范例-被动房节能组件

被动房节能组件 (Passive House Energy Efficient Components) 是欧洲另一类材料和技术数据库。本质上, 被动房的高效节能建造需要高效节能的建筑材料和系统。然而, 很难对此类材料和技术进行评价。

然而，材料和技术的能效、耐用性和必要的能量参数常常不够准确，或者在某些情况下甚至不切实际，因为它们未被证明符合现实的节能标准。利用可用数据无法实现可靠的能耗计算和生命周期评价。

为解决这一问题，独立认证机构被动房研究所（Passive House Institute）制定了标准，用以测试和认证实际使用的材料和技术在被动房中的适用性。加贴认证被动房屋组件标志的产品已依照统一标准接受测试；就具体价值而言，它们具有可比性，并且在能效方面表现卓越。所有组件均经过认证，并且加贴标签，表明其符合被动房标准。认证合格的组件包括：

- 墙体建筑节能系统
■ 降低热桥解决方案
■ 底板保温系统
■ 经认证的窗框和玻璃窗
■ 门
■ 通风系统
■ 紧凑型热泵机组

- 无热桥的建筑系统
- 废水热回收
- 气密性系统

这些材料和技术的使用大大减轻了设计人员和施工人员的工作负担，因为其有助于确保按照最高标准建造建筑。



图 8：被动房合适的组件标签。

资料来源：被动房, Passive House

3 施工阶段的环境方面

3.1 施工的环境影响

可持续建筑以及施工工艺本身需要在建筑的整个生命周期内（包括建造阶段）评价其环境影响。针对每一步，需要考虑材料、能源和水的来源和消耗以及废弃物产生的方式，还要考虑原材料的选择及其制造、使用、处置及回收利用方式。

3.2 环境目标和评价标准

可持续建设的主要保护目标应当是通过以下方式节约资源：

- 减少土地利用，
- 维护和促进生物多样性，
- 优化利用建筑材料和产品，
- 最大程度减少能耗和水耗。

只能通过评价整个生命周期来实现这一目标，包括从提取到运输和安装直至拆除的过程中，所有必需的能源和材料流动。在此类评价中，施工阶段常被遗忘。建筑不仅在使用阶段，而且在施工阶段排放温室气体（GHG）。例如，温室气体可能来自发电机或建筑机械等设备，甚至来自建筑商现场宿舍的能源利用。此外，建筑材料的生产和运输过程也产生温室气体。

建筑材料的生产对温室气体排放量的贡献显著（数字范围：混凝土、钢材和砖块的温室气体排放量占比为 8-15%，其中水泥占 3%）。因此，必须纳入用于生产建筑材料以及在施工阶段使用的能源造成的全局和局部层面的环境影响。

针对任何评价（包括技术、工艺和场地质量评价）中审查的可持续性的各个维度，必须确定可持续性目标。近年来开发了德国可持续建筑评价体系（参见第 2.2.1 章）和英国建筑研究院环境评价体系（参见第 2.2.2 章）等多种工具，以使这些包括质量在内的维度和可持续建筑总体上具有可比性。

3.3 可持续施工工艺

3.3.1 景观保护

现场施工活动不可避免会改变工地，尤其是新建项目工地的自然状态。现场施工活动会破坏现有景观，造成表层土壤侵蚀，还会造成地下水污染。因此，采取措施保护自然环境，避免工地污染，并且通过遵循后续章节中概述的措施防止与施工有关的污染非常重要。建议开发与建筑工地有关的可持续性概念。

可持续施工阶段的第一步是景观保护。尽可能避免选择生态敏感区，如运河和河床、红树林、湿地、沼泽，以及农田和林地等绿地作为建筑工地。

如果在此类地带进行建造不可避免，则在进行环境影响评价后应当采取适当的生态恢复措施。然而，由于多数建设工程位于城市和半城市地区，因此生态影响比新建项目工地要少。不过，这并不意味着无需考虑进行环境影响评价。

对于所有场地而言，重要的是将所有不需要施工的区域集中在一起。保护植被期间，针对所有不需要施工的区域，应当在清理前在根区周围设置防护围栏。应当避免设备、材料及其他施工活动与冠层和分枝结构接触。还可设置植被缓冲带。应当在需要保护的所有资源周围标记并维护缓冲带。

施工期间和之后应当注意保护现有树木。必要时应当制定计划，以保存和重新种植现有树木。为施工而砍伐的树木的补偿性种植或造林，应当尽可能在现场进行，只有在不得已情况下方可在其他地方进行。本土树木、景观和植被更适合重新种植。

应当避免将土壤压实到比保护区内的普洛特密度（湿度-密度）更高的密度水平。土壤压实是造成施工现场上树木减少的最大单一因素。压实度取决于若干因素：施加的压力的总量和类型，表面有机垃圾的存在和深度，土壤质地和结构以及土壤湿度水平。可采用垂直覆盖、土壤压裂、岩心排放和径向挖沟等技术减小压实度。应当注意不要将土壤

压实到比所需更高的密度：沥青或混凝土路面的改良区域：95%普洛特密度（湿度 - 密度）；在使用喷水压实的未改良开阔景观区域：不高于 85%。

除非经过树艺家或其他类似专业或园艺专家批准，否则不应受保护区内的土壤和限制活动造成干扰。

其他景观保护策略包括：

- 保持树木周围的土壤等级
- 采用软化铺路技术以及可渗透水和空气的路面材料
- 使用单个滚道或沟槽运行所有公用设施
- 现场灌溉设施应设在地面，不应有覆盖物
- 建造木板路以避免或最大程度减少保护区内交通量
- 不应允许在保护区内储存建筑材料，消除或最大程度减小保护区内交通量
- 控制敏感地区植物之间的竞争

3.3.2 土壤保持和污染

肥沃的表土对于支持现场植被和景观非常重要。现场进行施工活动时容易受到污染和侵蚀。因此，重要的是根据适用的当地或联邦侵蚀控制和沉降规范，在施工期间防止表土腐蚀并保持表土。

应当根据场地地形，在开始现场施工前制定土壤保持概念，包括沉积物控制和暴雨水污染防治计划（SWPPP），并且采取措施控制径流，稳固斜坡和裸土，防止或最大程度减少土壤流入排水系统和自然区域。

施工活动应当按顺序排列，以便在任一时间点将受干扰区域限制在最小范围。开始施工活动前，应当在现场资源（如树木、植被等）附近建立保护缓冲区，这些资源需要通过设置围栏和周边沉积区进行保护。

临时沉积物控制措施包括：

- 支撑围栏：使用土工布过滤来自径流的沉积物，或者修建水池，让沉淀物从水柱中流出。支撑围栏可安装在下坡边界处，也可用于入口保护，还可安装在料堆周边。
- 纤维原木：秸秆、木屑、椰壳纤维、堆肥和岩石等纤维可减缓水分运动并过滤沉淀物。纤维原木对于入口保护尤其有用，并且在支撑围栏不可行的情况下用作周边控制组件。
- 岩石构造：在工地所有入口处用岩层建造的道路可帮助清除进出现场的车辆轮胎上的沉积物。通常使用 1½ 英寸 - 3 英寸的透明骨料，定期清洁更换。
- 临时播种：在整个施工期内，在土壤里临时种上黑麦草、冬小麦、燕麦等植被，防止土壤侵蚀并稳固土壤。
- 侵蚀控制覆盖层：由秸秆、木材、椰壳合成纤维网层制成的侵蚀控制覆盖层，可防止雨水和径流造成的土壤侵蚀，同时为植被生长保持水分。
- 覆盖：木屑、堆肥、稻草或干草可充当扰动土壤的覆盖物。覆盖物防止雨水和径流造成的土壤侵蚀，同时为植被生长保持水分。应当在坡度较陡的地区使用由木质纤维组成的液压地膜（使用液压播种覆膜）。
- 岩石淤地坝：垂直安装在沟渠上的岩石桩，减缓水流并捕获沉积物。它们应当足够宽，以使水流保持在中心。
- 沉积盆地和沟渠：沟渠和排水沟可用于防止内有水道和湿地区域的场地出现径流。提供临时排水沟和集水井可防止施工现场发生地表径流。
- 此外，必须实施适当的沉淀计划，并且仔细收集和保存表土以供再利用，除非该工地已被污染或不适合储存。

避免土壤污染：

用农药和除草剂处理现场会导致土壤和地下水的有毒污染。因此应当采取利用毒性最小的程序的病虫害综合治理技术。还应考虑备选害虫防治系统，如白蚁沙障、网状屏障、压力处理的木材等。备选系统可能需要预防性维护，因此业主应当知晓并且应当愿意开展此类定期活动。

3.3.3 水污染

施工活动使用大量水资源用于混凝土养护、清理等。这可能会导致水渗入现场地面之前受到污染。尽可能有效利用水资源并尽可能减少需求，以此节约宝贵、普遍需要且往往有限的资源，同时节约水费，并且间接减少与分配和污水处理有关的碳排放。据估计，在英国，每减少 1 立方米用水量可减少 1 千克二氧化碳排放量。

应当遵循适用的当地或联邦建筑水污染防治规范。除上文所述的沉积物控制和暴雨水污染防治计划措施外，还可采取以下措施防止地下水污染：

- 在可能的情况下，应当限制土地扰动，不应干扰植被覆盖
- 应当使用细水喷雾控制灰尘并为工地加湿；通过遮蔽整个工地，或将细网筛放置在靠近灰尘源的地方，也可最大程度减少扬尘量。
- 应当遮盖装有建材的卡车。
- 堆放在干燥地点的建材，如水泥、沙子、石膏和其他粉状材料，应当存放在未将溢出物冲入水道或排水沟的区域。应当定期对这些材料进行覆盖，并且检查是否有溢出物。
- 尽可能使用无毒油漆、溶剂、害虫防治剂和除草剂。
- 应当遮盖并保护现场所有排水管。需要通过适当开辟水道来控制流向沉淀池和补给孔的水流，以防止现场径流。
- 应当依照环境法规收集沉淀池现场活动、过滤、排放清水以及处置剩余污泥过程中产生的废水。应当对废水进行处理，以满足当地污水排放标准要求。仅可使用处理后的水补给地下水。
- 所有车辆和设备发动机均应只使用低硫柴油，并且配备最新规格的微粒过滤器和催化转换器。

除了避免水污染外，还可采取以下措施最大程度减少施工期间的用水量：

- 应当制定雨水集蓄规定，
- 尽可能使用再生水或处理过的水
- 使用预制混凝土等现成材料，防止施工期间蒸发造成的水分流失
- 最大限度减少养护过程中的水分流失。
- 为进行混凝土养护，可采取以下具体措施：
 - 防渗膜养护
 - 模板
 - 塑料薄膜
 - 成膜养护剂
 - 内部养护剂
 - 水养护
 - 蓄水
 - 洒水或喷雾养护
 - 湿式遮盖

3.3.4 噪声控制

施工现场的噪声不仅是工地自身的问题，而且也关乎周边环境。噪声污染增加的问题在城市环境中尤其严重。挖掘、钻孔、锤击、装卸、柴油发电机、水泵运行等施工活动以及拆除造成工地内及周边地区的噪声污染。因此必须采取措施尽量减小施工现场不可避免的噪声。工地和进行的过程需要进行规划、建立和运行，并且在此期间尽可能使用最新技术。

噪声保护不足对您的员工也是一种健康风险！

应当考虑采取以下措施，注意尽量减少噪声污染，并减轻噪声污染造成的影响：

- 必须规定并且严格遵守作业时间和降噪时间。
- 必须遵循适用的当地或联邦施工区域噪声污染防治规范。
- 应当使用额定为 RAL-UZ53 的“低噪声”施工机械。
- 只能在允许时间内使用动力机械设备以及进行锤击、装载和卸载、安装和拆除作业。
- 必须使用隔音屏障围住动力机械设备。

3.3.5 粉尘控制 - 空气中的微粒和粉尘

挖掘、钻孔、锤击、装卸、柴油发电机、水泵运行等施工活动以及拆除作业，导致出现大量 PM2.5 和 PM10 颗粒物形式的粉尘。这两类颗粒物被吸入后均可能产生有害影响。应当遵循适用的当地或联邦建筑区域粉尘污染防治规范，在拆建过程中注意将空气中的颗粒物和粉尘降至最低。

空气中的微粒可能是一种健康风险。因此减少粉尘可帮助保护施工现场的工人和其他人员的健康。

根据当地规范，可考虑采取以下措施：

场地整理和恢复：

- 植被和覆盖物应当单独去除，而非一次全部去除，
- 土方工程、挖方和挖掘活动期间应当保持潮湿，如有可能，避免在天气特别干燥期间进行此类作业，
- 应当尽快稳固地面和/或重建植被。

搬运、存放、贮存和泄漏过程期间：

- 应当避免不必要地移动粉状材料，如水泥、沙子和其他粉末材料，并且保持较低的搬运作业次数，
- 输送机应当用于移动材料并将落差高度降至最低，
- 散装水泥、膨润土和类似材料应当使用罐车运输并储存在筒仓中，
- 针对干燥的细颗粒材料（粒径小于~3 毫米），应当在室内储存或使用防风板，
- 干燥材料（直径~3 毫米）应当储存在墁墙或堤墁保护区，
- 应当遮盖堆放的砖块、骨料和其他粉状材料

施工期间：室外和室外

- 建筑的脚手架应当使用防尘网封闭
- 应当在土方工程上、倾倒前的废料，以及切削和磨削作业之前和期间洒水
- 应当尽可能使用真空抽吸技术收集切削、磨削和钻孔过程中出现的细小颗粒物
- 应当提供封闭式废料溜槽和收集箱
- 应当在离开现场的卡车上使用车轮清洗系统
- 所有车辆和设备发动机均应只使用低硫柴油，并且配备最新规格的微粒过滤器和催化转换器。
- 应当使用围栏，以尽量减少扩散至相邻占用区域的灰尘。
- 倾倒溜槽应当用适当的筛网封闭，以处置拆建产生的废料。
- 如果未提供溜槽，则应将废料装入袋中，并且存放在临时防尘罩内。
- 应当使用排气通风装置/系统，通过在指定区域持续定期喷水来抑制灰尘。

施工期间：室内

对于计划进行大规模拆除或其他会产生扬尘的工程周边非敏感占用区域附近的室内工作区，应当考虑采取以下缓解措施：

- 使用适当标牌，区分施工区域与邻近空间。
- 在施工区域的入口处使用粘性地垫，以减少从工作区域到周围过道和走廊的垃圾及废料转移；
- 在施工区域入口处安装保护围栏；在通往室外的项目区域内使用排风扇，安装回风格栅；
- 除了进场必经大门外，所有大门均用胶布包覆；
- 拆除之前密封分户墙上的所有贯穿孔洞；
- 拆除过程中喷水，以减少空气中的颗粒物；
- 按照批准的路线清除建筑废料，覆盖、用网遮挡或包裹建筑废料，以防产生灰尘，或者在非工作时间清除。

施工期间避免现场健康危害

- 粉尘对工人是一种健康风险，应当消除粉尘污染或将其降至最低限度。
- 不应使用涂料、粘合剂、墙板及天花板等涂覆和使用过程中释放甲醛的建材。

- 含有挥发性有机化合物的产品的制造商应当探索作为替代产品的水性溶剂，以减少或消除挥发性有机化合物的排放，同时提升产品使用过程中的环境绩效。（包括甲醛在内的挥发性有机化合物会在室内环境中引起呼吸困难、刺激和不适）
- 需要让建筑师、规划师和建筑公司了解用于制造和加工产品的材料（如重金属、卤素、溶剂等）的风险，及其使用如何影响人体健康以及如何对水、土壤和空气造成环境影响。
- 应当为工人提供适当的个人防护装备（PPE），并且提供培训，使他们认识到粉尘的危险，并在粉尘环境中安全作业。

3.4 施工阶段的可持续资源利用和材料效率

全球范围内，建筑业占有所有材料流动的 30-40%。其中包括使用原始材料和使用回收材料。可持续资源利用可大致分为两类。

- 首先，减少资源使用，通常以体积或重量等物理单位来衡量该用量。
- 其次，尽量减少与材料开采及生产相关的负面环境影响，通常以温室气体排放吨数表示该影响。

3.4.1 材料资源效率

可持续建设的第一步是高效利用材料、技术和资源。原始材料的资源效率通常采用资源开采量/废物产生量作为关键指标。所使用的其他指标有每个建成区域的材料用量等。这些指标应当在材料和技术的选择及实施中发挥重要作用。

3.4.2 资源生产率

可持续材料使用一个更常见的方面是资源生产率。资源生产率描述使用（最常见）有限（单位）资源实现的（单位）产出。资源生产率越高，可再生资源使用和废物最小化效果就越好。有时以货币形式将其描述为单位资源货币收益率。在施工阶段，资源生产率尤为重要，因为它带来了经济困境：较高的材料使用率（较低的资源生产率）往往会带来更高的建筑“价值”，即给材料供应商和承包商带来更高利润，但给业主带来更高成本。另一方面，更高的资源生产率意味着更少周转，以及材料供应商的更少利润。然而，资源生产率是开发商最大的驱动力之一，因为它们的目标是从材料使用中获得尽可能多的利润，因此应当成为资源生产率的驱动者。因此，重要的是将这两个变量脱钩，或为减少资源而寻求更多价值。

3.4.3 资源利用的环境影响

建筑的生命周期由原材料开采、材料生产、施工、使用和维护以及最终拆除等不同阶段组成。资源用于各个阶段，还会产生废弃物/副产物。例如，开采沙子、石灰石（用于制造水泥）、土壤（用于制砖）、金属等原材料的过程，就采矿而言造成很大的环境影响；生产和运输建材（如水泥和钢铁）的过程中使用大量能源，这部分能源通常称为隐含能源，还使用其他中间材料和催化剂，导致温室气体排放、空气和水污染；施工阶段包括现场施工，如果对工地处理不当，有可能造成空气和地下水污染；最后，拆除阶段会产生大量废弃物，除非进行有效再利用或回收，否则通常对其作填埋处理。通过生命周期评价/分析（LCA）分析建筑施工的总体影响。然而，分析往往很复杂，而且可靠数据的可用性往往有限。因此，可用的最佳替代选项，或许是与各个施工阶段相关的二氧化碳排放量或温室气体排放量以及其他空气或水污染指标。资源可持续利用的其他方法有摇篮到摇篮方法，其解决了各个阶段的再利用、回收利用和有效废物管理问题。

3.4.4 资源节约型施工

可持续建设以及减少资源和能源使用量的一个简单解决方案，是减少所用的技术和材料。这看似矛盾，但可通过资源节约型施工轻松实现。不过需要改变思维和创新型建造过程。

然而，资源节约型施工的内涵并不囿于其名称暗示的含义，而是对材料和技术适当可持续的资源节约型利用。资源节约型施工的设计目的是满足在建建筑的需求。为实现这一点，资源节约型施工遵循三个基本原则：

- 使用与其重量相比具有高强度和高刚度的轻质材料
- 使用具有最佳荷载传递机理的轻型结构，例如避免弯曲应力；

■ 使用轻型系统设计方案，将各种功能集于单一组件中

资源节约型施工要求在规划阶段对建筑进行深入分析，以确定材料流动和计算材料强度。还需考虑环境绩效、机械性能、使用寿命及维护要求。理想情况下，应当突破这一思路，考虑当地条件、未来需求等，综合考虑建筑的生命周期。这种完整的分析有助于确定每个规格的最佳材料。

对墙体的分析是此类分析的一个简单例子。建造墙体的首要意图是将其用作承重结构。然而，在寒冷国家，钢筋混凝土墙未必具有保温功能。使用保温墙结构对钢筋混凝土墙作保温处理或许不是最可持续的组合。在这方面，解决方案可是在较低结构中使用高度保温的加气混凝土承重墙，或者在较高结构中使用具有保温板的支撑和梁结构。这些解决方案满足承重需求、保温需求以及材料可持续使用的需求。

因此，只有所有建筑材料的特性和相互作用通过尽量减少材料和能源消耗以及对环境的有害排放而打造出真正的可持续建筑时，方能实现资源节约型施工。

3.5 现场能耗

在与使用阶段的能耗进行权衡时，人们通常认为建造阶段的能耗无足轻重¹。此外，人们通常认为无法计算建造阶段的能耗。施工的特殊性，例如变化的场地、所用工人和工具的数量，常常使人们认为难以，甚至无法在建筑工地进行统一规范的资源和能源管理。另一个原因是无法预测所使用的机器以及它们的使用方式。¹不过，以德国为例，研究表明，三分之一建筑公司的能源成本占总建造成本的 5% 至 10%。

然而，随着建造成本的不断增加，建造阶段节省的材料和能源成本日渐重要。节能措施是最具经济效益的缓解举措，因为其通常会带来负成本。然而，由于面临许多非经济障碍，此类措施并未得到系统化实施。建造阶段的决定性因素，首先是工程机械的能源供应和温室气体排放、交通诱导和施工现场物流（即卡车、照明的利用）等。不过，住宿等其他领域也可能影响现场能耗。

只有通过具有环保意识的作业管理，方能建成可持续、节能施工现场，此类管理记录分析结果并且系统化节能。这方面的工作包括监测施工设备的能源使用情况，工人、材料和技术与工地之间的往返运输以及工地住宿。对建筑工地进行良好能源管理的基础是实施能源管理体系。必须通过技术、组织和人事措施系统开发现有节约潜力。ISO 50001-能源管理体系得到国际公认并且广泛使用。

关于现场能源管理的实施，第一步是在施工管理计划内编制施工能耗估算和要求，以帮助找到能源优化途径。在此应当实现时间、能源和建造成本之间的平衡。

3.5.1 技术

在可能的情况下，建筑工地应当及早确保高容量电网连接。此举可减少运行发电机的需要。如果需要发电机，应当选用尺寸合适的型号，在可能的情况下，应当使用两台发电机（高容量和低容量），分别在白天和夜间使用。减少电力负荷时，还应确保所有临时电气装置和电路均高效节能且自动操作。这方面的工作包括适当的照明和照明管理。应当在整个施工阶段监测和管理所有用电。

为确保实现这些技术的全部优势，必须：

- 正确指定设备
- 确保安装人员对设备有全面了解
- 进行彻底调试
- 对所有设备进行彻底定期维护。

还应避免不必要的机器使用；例如设备和车辆发动机不应空转。在此，可通过适时使用机器让可持续一体化建设产生效益。

也可通过适当的目标日期计划减少现场能耗。材料的自然干燥，而非强制干燥就是一个例子。为此，可适当规划建造活动，确保不会在冬季建设最大数量的混凝土工程。在温暖气候条件下，当然可在另一个方向上开展此项工作，例如用于固化的混凝土等材料的

¹ M. Helmus 等人，《建筑工地的能源管理》（Energiemanagement auf Baustellen），伍珀塔尔大学，伍珀塔尔

冷却过程使用大量能源和水。在这方面，在凉爽月份进行浇筑的计划更加合宜。还应计划在建筑完工与首次投入使用之间的适当时间，以减少对建筑的强制干燥。

3.5.2 培训

可通过培训以宣传实现上述多个节约目标，比如，对工人进行高效使用网上专题培训是一项简单的低成本措施。

3.5.3 住宿

建筑工地的能效经常被忽视的一个方面，是供建筑工人使用的办公室和宿舍。这方面通常被认为无关紧要，并且具有较高的前期成本，但从中长期考虑，还是在节约成本的。建筑公司会在多个建筑工地长期使用办公室和宿舍，因此，建议建造或使用节能建筑。在欧洲，最近出现了建造超低能耗房屋和被动房的趋势。另外，在办公室和宿舍中，应当配备智能高效的照明电器和其他设备。

3.5.3.1 最佳实践范例 - 集装箱宿舍

- 最大高度 3 层
- 结构： 钢结构框架+异型板墙体或盒式立面
- 长： 6058 - 14646 毫米
- 宽： 3000 - 3250 毫米
- 外高： 2800/3350 毫米
- 保温墙体： 0,153 W/m²K
- 保温屋顶： 0,160W/m²K
- 保温楼板： 0,178W/m²K
- 使用期限： > 3 年
- 标签： SIA180



图 9：瑞士的节能集装箱

资料来源：<https://fagsi.ch>

3.5.3.2 最佳实践范例 - 木质居住舱模块

- 最大高度 3 层
- 结构： 木结构框架+石材立面
- 长： 9600/10700/11300 毫米
- 宽： 2960/3035/3950 毫米
- 外高： 3470 毫米
- 保温墙体： 0,15 W/m²K
- 保温屋顶： 0,12 W/m²K
- 保温楼板： 0,15 W/m²K
- 窗户： 三层玻璃窗 0,78W/m²K
- 标签： EnEV 2014



图 10：德国节能预制木质集装箱

3.5.4 运输能耗

关于施工现场能效，另一个经常被忽略的方面是运输。研究表明，通过运输增加的全球变暖潜能值可能超过建材单独造成的环境影响的 6% 以上。

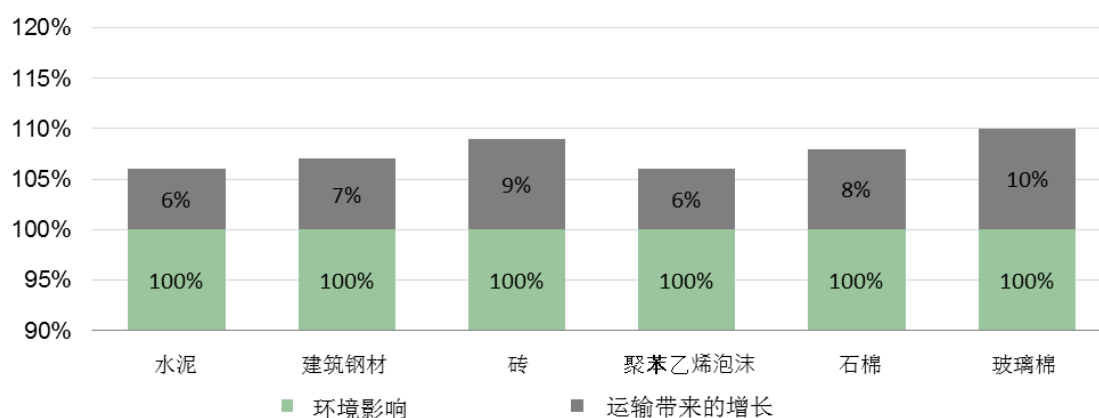


图 11：运输带来的全球变暖潜能值

优化的物流降低了运输成本。因此有必要明确建筑工地物流和过程执行，以减少不必要的运输。应当根据工厂位置、施工现场和建筑产品对运输用能进行结构化记录，并将其纳入能源管理体系。通过运输减少能耗的过程应当考虑现场和非现场运输的物流优化计划。适当的规划和交付时间表可减少建筑工地所需运输的次数，从而减少运输引起的二氧化碳或不必要的设备运行，直至通过现场物流提供材料。

还应为每个项目确定运输异地材料的最大距离。对于涉及大型挖掘工程和配备大量卡车的建筑工地而言，所产生的距离可能非常大。采掘行业的运输成本约占总成本的 13%，因此在多数情况下，运输材料的距离超过 35 - 50 公里左右（取决于柴油价格）的安排并不经济。

为帮助完成这一过程，应当尽可能从当地采购材料，以缩短运输供应链。应当在整个施工阶段与供应商一同检查材料采购来源和时间。使用本地材料给当地价值链带来的益处包括使整个施工过程更具可持续性，同时具有更高成本效益。

为工人提供巴士服务也可降低能源成本和排放。尽管不能直接为公司节能，但将此服务作为向改善总体工作环境的员工发放的奖金。

4 可持续材料和技术

提高建筑可持续性的一个主要方法是选择合适的材料和技术。因此，从最初起就必须充分了解这些材料和技术会造成何种影响。需要考虑材料、能源和水的来源和消耗以及废弃物的产生方式，还要考虑原材料的选择及其制造、使用和处置方式。

- 某些材料（如有毒、易爆或腐蚀性材料）较其他材料对环境和社会造成的危害更大。
- 某些材料不可再生或日益稀缺（如石油储备或某些金属）。
- 某些材料的生产、运输或回收利用（包括能源消耗）非常耗费资源，例如塑料较玻璃虽然运输更加轻便，但在某些欧盟国家，其回收利用的难度更大）。

为确保材料离开原有环境后继续保持可持续性，应考虑其后续加工制造、运输和建设。此外，可持续性不仅应作为材料整个生命周期评价的一部分，在建筑的各个阶段也应贯彻可持续性。

此外，材料及其开采可能会对场外的可持续性产生不利影响，例如滥砍滥伐可能造成土壤侵蚀、土地温度升高或空气颗粒物污染，而另一个例子是采石或混凝土生产，过度开采或生产会造成空气颗粒物污染。

4.1 知识库

承包商需要对绿色材料、低挥发性有机化合物发光材料、绿色废弃物管理策略、可持续标签和证书等方面有充分了解，唯此方能真正参与到可持续建设的一体化设计中。

然而，通常很难获取和理解这些信息，这在供应链下游尤为明显。独立认证和标签机构拥有完备的信息资源，因此制造商应委托其进行建筑产品的环境声明。此类环境声明能够通过简单的认证流程为制造商做出统一的第三方评估及面向承包商和客户的标签，并提供易于理解的相关信息。

4.2 生态平衡

生态平衡标准不仅有助于保障未来居民和用户安全，还能建筑工人的健康安全发挥作用。例如，在使用阶段使用的材料可能无害，但在施工阶段则可能使用有害材料（如溶剂）。这种情况下，分析工具可帮助相关主体选择合适的可持续材料和技术及建筑类型。这些工具包括：指导方针和检查清单、单项评分筛选指标、全生命周期评估、过程模拟软件、材料数据库等）。

欧洲乃至全世界都在开发针对不同建筑类型和建筑产品的可持续环境评估和标识方案。然而，因为这些评估和方案使用的指标通常不同，因此它们往往难以比较。使用标准化的环境产品声明（EPD）可帮助缓解这一情况。例如，EN 15804 列出了基于科学方法的环境产品声明核心规则和指导方针，提供了各种建筑产品信息。诸如这些环境产品声明的工具有助于确定有效的可持续材料流程和工艺。

4.3 施工工艺材料

除了生态平衡确定的“全局”水平之外，施工过程也可能对当地环境产生有害影响。这在施工现场或建筑使用期间加工产品时尤为明显。这种情况下，污染物会进入水、土壤和空气，它们积聚在食物链中，并污染室内空气，可能会对健康构成风险。特别是应避免发生毒性效应（诱发癌症及对水果和基因型造成损害）。

物质	健康影响	含有此类物质的材料
沥青	疑似癌性物质	油漆、沥青板、波纹板、沥青刮板、沥青纤维板
苯酚	头痛、头晕，腐蚀、肾脏和循环系统紊乱、麻醉、肝脏损伤	刚性绝缘品、合成树脂、染料、胶水、浸渍和消毒剂、沥青纸
苯乙烯	麻醉、头痛、疲劳、抑郁症、行为紊乱、视力模糊、呼吸道刺激	作为聚苯乙烯用于生产绝热和胶粘剂产品、食品包装
甲苯	美感、粘膜刺激、神经系统紊乱、肝、肾和脑损伤	许多家用产品都为溶剂，尤其是清洁剂
氯乙烯 (VC)	肺、肝和血管内的癌变、结缔组织变化	地板和窗户 (PVC) 纺织品、玩具、水暖管、百叶窗

图 12: 可在施工现场上发现的有害物质例子及其对健康的影响

在施工阶段（在规划阶段决定更好），产品和安装的材料不应产生不良影响，或者风险较低，这一点至关重要。因此，在规划阶段开始时就必须给出处理指令，并且设置框架条件和限制值。还建议质量和可持续性管理人员检查和审批所有到达现场的材料。

欧洲的经验表明，使用不合规的材料会导致成本增加，其中包括返工、边角料和废料的比比例增加。

4.4 生态材料和技术

在评价建筑的可持续性时，建筑本身被视为最终产品，而建筑产品则被视为中间产品。不过，这些建筑产品必须接受充分评价，以评价建筑的整体性能。认证标签制度和标准在这一过程中起到很大作用（更多信息见第 2.4 章）。这种情况下，建筑材料和产品的产品声明和认证要求以科学的方法考虑所有因素。尽管可持续认证材料通常资源消耗少，污染程度也较轻，但需要考虑其他因素（如当地需求或资源来源），方能准确判断其真实的可持续性。例如，某些材料可能符合特定认证标准，但可能不符合其他生态标准。例如，采购自可持续管理森林的木材可被视为合适的单户住宅可持续材料。然而，当大型建筑开发项目使用过多木材，造成大面积林木砍伐时，这将被不认为可持续。

因此，认证过程和标签需要考虑各种因素，如区域因素等。为开展此类研发活动，需要增加生态材料、实施生态材料部署策略，同时出台政策，确保研发活动不会引起问题转移或者使用水平超过可持续供应水平。

4.4.1 再生材料

再生材料的价格通常和新材料一样，许多情况下甚至更便宜，质量也很好。然而，再生材料的生产工艺必须与上述工艺相同，确保在每个建设项目中均具有可持续性。

4.4.2 最佳实践范例 - 生态水泥

水泥行业是二氧化碳排放量最大的行业之一，占世界二氧化碳总排放量的 5%，并且生产水泥需要大量能源。以质量计，水泥还是使用量最大的制造材料，也是全球使用量第二大的物质，仅次于水。已经研发成功的生态水泥可持续性更强，二氧化碳排放量更低，质量也不低于常用标准。进一步的研究也侧重于开发性能比肩纯硅酸盐水泥，而二氧化碳排放和能耗更少的水泥。

例如，可持续性更强的生态水泥可成为“普通”水泥的替代品。此类生态水泥的二氧化碳排放量更低。它们的另一个优势是通过隔离空气中的二氧化碳变得坚固。替代纯硅酸盐水泥的可持续方法有使用石灰石、粒状高炉矿渣和煤灰。其他方法包括使用矿渣等工业废料和火山灰等天然水硬化矿物质等作为熟料替代品。这些熟料替代品能够替换多达 50% 的纯硅酸盐水泥熟料，而且性能基本一致。在某些应用中，填充物含量高于 50% 的水泥的性能依然令人满意。将 40% 的传统熟料替换成可持续性更强的替代品，每年可减

少多达 4 亿吨二氧化碳排放。生态水泥虽然具有无需煅烧的优点，但需要通过添加纯硅酸盐水泥或所谓的地聚合物或铝硅酸盐水泥来活化。

目前，生态水泥有一个缺点，即尽管可持续水泥的强度的确与纯硅酸盐水泥相当，但关于其他相关性能的信息却很有限，例如长期保护钢铁免受腐蚀的能力、孔隙率和抗冻性。

例如，在受控环境中进行大量工业化预制，优化颗粒填料的粗细颗粒混合，也能减少纯硅酸盐水泥的使用，而不会降低性能。如果无法做到，在任何情况下都不应在现场混合混凝土，而最糟糕的情况是以工业方式混合并根据需要现场交付。

到目前为止，生态水泥仍比传统水泥略贵。甚至还有这种情况：比利时开发的一款二氧化碳中和水泥更加高端，其价格比普通水泥高 5%，但未售出一吨。鉴于目前的价格水平，虽然许多地方尚未使用生态水泥，但其依然拥有巨大潜力。不过，还是建议在规划阶段进行详细的生命周期分析。与所有创新材料和技术一样，生态水泥的价格将随着市场份额的增长而急剧下降。

与纯硅酸盐水泥等传统水泥相比，生态水泥具有可完全回收利用的优点。

4.4.3 最佳实践范例 - 木材

在建筑行业，由于行动主体们寻找可持续性更强的建筑材料，木材再度成为理想的建筑材料。木材正在越来越多地用于创新方式（而这在传统意义上并不可行），从而开创了新的可能。它不再只用作覆层材料，而是以混合的形式开创了新的用途（如保温材料），甚至用于高层构筑物。例如，合成木复合共混材料是一种能够 100% 回收利用的材料，耐用性更强，而且保留了木材的基本特性。由于其耐水性和耐候性得到改善，许多情况下这种材料表现更佳，甚至还具有自熄功能。尽管完全回收利用较困难，但木制复合材料可再次使用。通过创新和混合使用及设计，传统木材风险（如结构损坏和燃烧风险）业已得到抑制或消除。

木材有一个值得关注的优势：能够层叠使用。即使木材无法回收利用，在生命周期结束时用于产生能源前，作为建筑材料使用也有助于扩大其可持续发展潜力。但是必须指出，只有可持续来源的木材才会对温室气体排放产生积极影响。

龙贝格的“生命周期塔”：基于木材的多层塔

在欧洲，人们注重可持续材料的使用和提高资源效率，在多层建筑中使用木材日渐增多。奥地利的生命周期塔就是这样一个例子。建筑公司龙贝格巴乌（Rhomberg Bau）采用了创新的混合建筑系统，建造了一栋 8 层 27 米高的混合木结构建筑。这一建筑理念不同于其他建筑理念，因为木材制成的承重结构无需包覆防护层，从而节省了宝贵资源。防火性能也不受影响。此外，虽然大部分结构用木材制作，但只在有需要的地方才使用木材。其他材料则用在更加合适的地方。在立面上对木材的加倍支持有助于承受竖向载荷。地板由木材-水泥混合结构组成。在这里，胶合叠层木材支撑梁与钢筋混凝土地板相结合，结构极为稳定。

这栋建筑背后的理念是要证明，建造一栋资源和能效较高的生态创新建筑是可行的，其二氧化碳排放量较同类建筑减少 90%。另一个好处是，模块化设计能将建筑的现场施工时间缩短至其他建筑所需时间的一半。

5 施工阶段的质量控制

5.1 质量控制

无论是政策、法规还是业主要求，对可持续发展和能效的要求都越来越高，这提高了对优质建筑工程的要求。在施工阶段，对质量控制的要求更多地体现在建筑工程本身，而非更容易地定义技术和材料控制。这是因为在这一阶段，质量通常取决于公司或个人所执行的任务、他们受到的培训、专业知识及实施情况。但是，施工过程也必须加以管理，以保护环境和资源及所有利益相关方的健康。

5.1.1 施工现场质量控制

施工阶段建筑工地的测量和质量控制是实现建筑工地可持续发展目标的关键。下列因素可决定建筑质量：

- 建筑师和规划师对建筑质量的监督
- 规划师对施工现场的参与程度
- 施工过程的协调
- 成本控制
- 施工时使用的建筑材料和产品的综合文档
- 承包商的质量管理体系
- 项目管理服务的质量
- 质量保证和项目管理与质量保证流程的整合
- 承包商培训和进阶专业资格

设计和规划阶段完成后，应当核查规划完成情况。核查应包含记录所有材料和技术安装信息的施工进度表。

投标时，承包商需制定战略计划，详细说明生产基地规划的质量。所有相关主体均应通过合同达成一致。这确保在建设过程中也能执行约定的可持续性质量标准，保证规划具有针对性。

可持续施工阶段需要全面的质量控制，以避免建筑出现缺陷和损坏，并确保达成目标。因此，需要训练有素或受认可的质量保证工程师及能源和可持续发展顾问到可持续建筑现场参与工作。客户需要在项目开始前委托以上事项。

施工开始时，包括施工现场经理、现场主管、质量经理及相关专家顾问在内的相关主体，需要监控设计和确定目标的实施情况及工作流程计划。监控应包括使用的材料和建筑产品，必须完整记录在案。在协助过程中，必须向现场管理人员提供完整的产品清单（由可持续顾问/审计师提供）。

实践经验证明，错误的施工工作流程计划、典型但可预见的延误或不明确的定义会迅速影响建筑施工，导致实际质量与计划质量有很大的偏差。

为避免建筑出现缺陷或损坏，必须在建筑过程和建筑完工后进行定期、全面质量检查。检查内容应包括但不限于：

- 定期实地考察
- 每日团队会议（内容包括每日指导和团队报告）
- 现场主管必须执行的协议内容（“建造日记”）
- 照片文件
- 可持续目标清单
- 现场使用材料的产品控制
- 向客户和质量经理发送质量保证的表格报告

根据项目和需要，施工现场应按需提供充分的质量保证措施。然而，短期工作也必须提供质量保证措施，通过实地考察决定采取何种措施。

必须使用安全数据表和产品描述记录现场使用的所有材料和技术。进入施工现场的所有产品、材料和技术必须得到控制，确保其符合项目规定的可持续目标。此类控制不得间断，并贯穿整个建造阶段直至结束。

文件需保存在项目手册中，项目结束时必须提交给业主。如此可留有施工阶段的完整证据链，之后建筑设施管理人员如要进行任何翻新和扩建及建筑拆除时，亦可作为参考。

5.1.2 建筑测量

质量控制的主要工具是现场测量和随机抽样。其中包括：

- 管控材料清单中使用的材料
- 鼓风门气密性测试
- 热像仪
- 有害物质的测量
- 施工现场噪声测量

这些测量工作通常在项目结束时进行。不过，建议在建造阶段进行一次或多次控制测量，因为在项目结束时进行测量的话几乎不能纠正任何问题。鼓风门或有害物质测量属于此类。

5.1.2.1 材料清单

必须编制所使用材料的产品清单（包括未内置的清单），并预先提供给质量经理。任何时候均须控制和交叉核对进入现场的材料，确保只有经批准的材料方可使用。产品证书（如说明书、宣传单、CE 标志等）安装和使用的所有材料和技术需要被收集并记录在建筑手册中，并在竣工时提交给开发商。

5.1.2.2 鼓风门

竣工时应至少对建筑进行一次鼓风门气密性测试，但建议在项目早期至少再进行一次测试。第一次鼓风门气密性测试应在建筑围护结束时完成。即便是部分完工的大型建筑，也可在业已安装围护结构的建筑部分上进行局部测试。在更大建筑中，气密性测试主要在防火屏障保护的建筑部分简单进行。

这一阶段进行的气密性测试，其成本比竣工时要高，因为某些地方必须用胶布封住或封闭。然而，和以后纠正问题所产生的费用相比，这只是一笔小开支。

作为建筑认证和批准的一部分，鼓风门气密性测试不可或缺。所有鼓风门气密性测试均须在协议中注明，必须记录测量结果并告知业主，建筑手册中须记录测量结果。

在欧洲，鼓风门气密性测试的一个常用指标是最低 1.5 l/h@50pa ，但通常情况下会更好，例如被动房的气密性为 0.6 l/h @50pa ）

5.1.2.3 热像仪

在施工阶段建议使用热像仪，但在建筑竣工时使用效果最好。从施工经理的角度看，红外热像仪可能是一种非常有用的工具，特别是它的非破坏特性。它能帮助检测多种施工缺陷，包括识别热和空气泄漏、绝缘和连续性安装问题、热桥识别、安装问题及电气和机械系统的预测性维护、制造过程质量保证等。所有红外质量监测应附有普通照片文件，便于更好地参考和记录。

5.1.2.4 空气质量

施工阶段应进行现场灰尘和空气质量检测。这一点十分重要，因为其证明了施工现场执行相关标准，减少灰尘和挥发性有机化合物。这也是一种主动控制现场使用材料的方式，它还能帮助确认施工过程中是否使用违禁材料（竣工后难以返工）。

建筑竣工时，为确保和记录室内空气质量，必须至少在装修开始前一天测量室内空气。然而，这可能不足以让挥发性有机化合物自然地降至“正常”水平。德国可持续建筑评价体系建议应在建筑完工 28 天后至建筑投入使用前检测空气质量。如此可测量空气质量，包括挥发性有机化合物（VOC）含量，提供的反馈也更可靠，还可控制所使用的产品，以及确认建筑过程中是否使用任何有害物质。在各类可持续建筑标签中，空气质量优先级很高。德国可持续建筑评价体系的作用很大，如果达不到最低标准，建筑将无法获得认证。

所有测试均须在协议中注明，必须记录测量结果并告知业主，建筑手册中必须记录测量结果。

5.1.2.5 热桥

即便规划细致，施工过程中仍然可能出现热桥，无论这是计划内的、可容许的还是计划外的。这可能由使用不合适的材料所导致，例如用金属替换墙支架和立面锚的合适材料。承包商应检查这些问题发生区域的所有计划和文件，如果这些问题尚未处理，需要提出

纠正建议。如果预计将发生热桥，质量经理须特别留意，确保实施合适的解决方案，以减少负面影响。热像仪是一种卓越的质量保证工具，尤其适用于建筑竣工阶段。

5.1.2.6 液压调试等系统调控

必须在施工阶段检查水和空气系统的液压调试，最迟于竣工和认证阶段完成此项工作。试车和调试应由相关承包商和专家进行，以检查是否存在任何问题，毫无疑问，这要与未来的设施经理合作完成。这些事项需在开发商和业主及未来设施经理的协议中注明。

5.1.2.7 声音

必须进行持续的现场施工噪声监测，确保噪声水平保持在规定范围内。建筑竣工后，应对建筑进行适当测试，确保建筑符合声学要求。声学测量应包括建筑和房间声学测量（如测试空气传声、脚步声、混响时间）。

6 拆建废弃物管理和回收利用

6.1 废弃物控制

作为原材料使用大户之一，建筑行业需在施工阶段使用资源节约技术，并在使用阶段使用生命周期尽可能长的材料，从而将建筑垃圾减少到最低程度。

建筑工地的所有建筑垃圾最终会以填埋方式得到处置。建筑垃圾包括：

- 未使用的材料和边角料
- 损坏的材料和产品
- 拆卸废弃物

仅在欧盟，每年产生的拆建废弃物就达 10 亿吨左右。目前，70-80%的废弃物可回收利用。研究表明，其中 13%是新的和未使用的材料，这些废料大都可通过仔细规划避免产生。为了缓解这一问题，欧盟希望通过《欧洲废弃物管理指令》（参见第 2.3.7）规定 80%的建筑废料都要进行建造和拆除回收利用，以减少废弃物的产生。

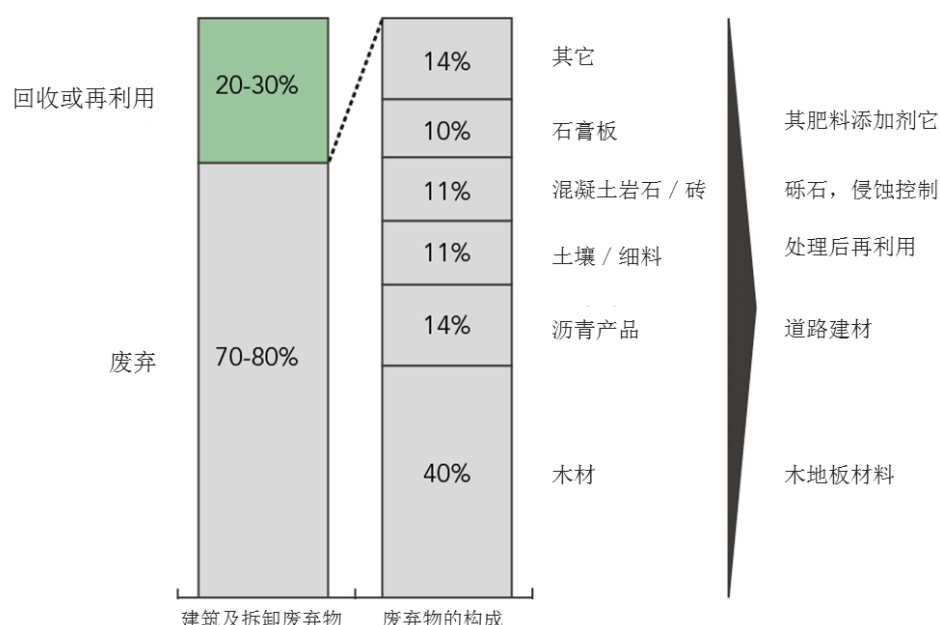


图 13：拆建废弃物概况

资料来源：艾伦·麦克阿瑟基金会（Ellen MacArthur Foundation）；世界经济论坛（World Economic Forum）；波士顿咨询公司（The Boston Consulting Group）

可持续废弃物管理的第一步，是制定和实施可持续综合拆建（C&D）废弃物管理计划。为保证计划顺利实行，需要持续监测废弃物的产生及安全处置。这涉及到材料的精确计算。诸如建筑信息模型等工具可在这方面发挥重要的辅助作用。施工前阶段是实施可持续废弃物管理计划的关键。必须确定合适的回收商和废弃物管理服务提供商。

毫无疑问，这种可持续废弃物管理的重点应当是避免浪费。避免浪费的优先度应高于废弃物减量，材料再使用的优先度应高于回收利用。应采取手段尽量减少产生不可避免的废弃物，例如，以环保方式设计建筑、回收方便的施工现场及经济周期的再循环。然而，这不可能完全实现，并且在设计阶段就应确认废弃物流、产生的废弃物种类及数量。在项目施工阶段开始时，应与所有承包商和分包商举行小组会议，强调施工可持续性，包括废弃物管理。最好通过良好协调来避免材料浪费和冗余，此举能减少材料、能源和水的使用量。

此外，储存和现场条件不佳可能导致材料损失和损坏。需要确定符合储存要求的合适储存区域以及为此预留的区域。此类储存设施应确保所有材料存放安全，并防止湿气、雨水和日光过量。适当的采购和减少材料损失可节省资金，并避免施工延误。

实行标准化可减少浪费，例如房间尺寸契合砖尺寸或干板尺寸可减少产生边角料和废弃物。使用模块化构件：如果模块尺寸正确，场外预制建筑构件也能显著减少现场材料浪费。

对工人进行培训还能更准确、合适地使用建筑材料，同时减少浪费。培训和出色的做工也会降低项目的返工量，从而减少建筑废弃物。做工出色的其他好处包括大幅减少现场混凝土灰尘或者石膏板或木制品的灰尘。激励和奖励措施也有助于促进可持续建设。

由于废弃物仍可使用，因此会浪费很多材料。这种情况下，无论是用于其他项目，还是制造商按协议收回或回购，都可通过退款或将它们出售给第三方获得货币收益。废弃物的很大一部分是包装。应与供应商沟通，以减少这种情况。如果包装不能收回，则必须回收利用。无法退回或已部分使用的材料（如模板），可在现场、场外等地进行回收和再利用。合适的拆卸废料和挖出的土壤也可用于场地平整和填充等。

应在建筑过程早期发现可回收利用的废弃物，以减少产生混合废弃物及降低污染。将废弃物分类存放至指定的垃圾箱，确保废弃物能被重复利用和回收，这一方式可提升建造过程的可持续性。必须考虑制定材料的现场隔离及再利用或回收利用的规定，并为此预留相关区域。这种情况下，需要采取预防措施，确保危险的拆建废料得到安全处理，以免被弃置在垃圾填埋场。

建议制定一项材料交换方案，以交换和使用或再利用建筑材料。此类方案（如匈牙利的Nemsitt）已经在欧洲实施。在线平台提供了建筑材料和部件使用和再使用服务。建筑公司可通过 12 种建筑材料类别和地区轻松搜索到适合其需求的材料。

减少废料即节省开支！每减少一吨废料，都意味着搬运费用和垃圾填埋税的减少。此外，废弃物管理服务行业的材料隔离价格通常比较便宜，这也能够鼓励减少废弃物。随地倾倒建筑材料也是社区的一项主要成本，往往会导致垃圾填埋税提升或征收其他税。

所有项目评估应在竣工后进行，以减少将来的浪费和成本。这应包括预计的废料、废弃物流和搬运费用。通过改善协调来避免材料的浪费和冗余，从而减少材料、能源和水的使用。

6.1.1 最佳实践范例 - 骨料和砾石的回收利用

瑞士苏黎世的一项案例研究发现，大约 80% 的拆除材料得到回收利用（AWEL 2010）。然而，这种材料大多被当作次等建筑材料使用。另外 20% 的拆除材料则被弃置在垃圾填埋场。目前，几乎所有类型的再生混凝土的属性均略逊于原始砾石制成的混凝土。但是，如果在规划施工项目时能适当地考虑这一点，即使是再生混凝土也可用于建筑结构相关部分。不过，这需要建筑行业对此作出一些反思。因此，废弃物、水、能源和空气办公室（the Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL)）发起了瑞士信息倡议——几代人的砾石（KiesfürGenerationen；自行释义）。这一举措的目的是宣传再生材料的使用知识，并且加强科学界与产业界之间的信息交流（AWEL，2010）。

6.1.2 最佳实践范例 - 英国《工地废弃物管理计划》

英国的建筑废弃物管理堪称最佳实践范例，根据规定，超过 30 万英镑的项目必须执行《工地废弃物管理计划》（SWMP）。《工地废弃物管理计划》必须在开工前准备好，它是规划批准通过的先决条件。该计划能够确保：

- 更好地利用资源 - 材料和产品；
- 最大限度地减少废弃物产生；
- 回收有价值的材料；
- 降低成本，增加利润；
- 制定计划，最大限度地减少废弃物并管理废弃物；
- 防止/减少随地倾倒

该《工地废弃物管理计划》使建筑行业提高可持续性和成本效益。《工地废弃物管理计划》贯穿整条价值链，并且不遵守规定的建筑公司将受到严厉处罚。这从罚金高达 50,000 英镑的简易程序判决及罚金无上限的判决中可见一斑。

包括建筑师、项目经理、供应商、客户、废弃物管理人员和建筑公司在内的整条价值链都是《工地废弃物管理计划》的一部分，他们必须按计划行事。

《工地废弃物管理计划》规定，必须指定一名负责人，负责维护计划。任何职责的转移均应记录在《工地废弃物管理计划》中。还需明确《工地废弃物管理计划》的责任链，以确定计划内各要素的所有权。负责人必须：

- 明确责任链；
- 监测各个合同的《工地废弃物管理计划》要求；
- 确保授权地点的废弃物回收和利用妥善进行；
- 让现场所有工作人员知晓其职责所在；
- 同意报告进展情况；
- 识别任何合规性问题。

根据基本《工地废弃物管理计划》，对于 30 万至 50 万英镑的项目，所有废弃物必须按照《欧洲废弃物名录代码》进行记录。计划规定，必须指定持牌的垃圾搬运经营者，所有的垃圾转移和托运单及何处带走垃圾必须记录在案。此外，必须在整个施工阶段对此进行监控，并根据需要更新信息。

针对 50 万英镑以上项目的《工地废弃物管理计划》的要求更加严格，规定项目必须每 6 个月进行一次正式审查、收集数据用于审计和监测、记录废弃物的类型和数量及处理方式（如再使用或回收利用）。此外，需要比较实际和预计产生的垃圾，并在项目完成之日的三个月内报告任何偏差并估计成本节约情况。

在职责明确的《工地废弃物管理计划》中，所有主体都应知晓其废弃物种类、如何减少这些废弃物及如果无法处理时应置于何处。为此，需要在合同条款中明确规定废弃物管理和废弃物最少化的执行方法。然而，这需要在早期就进行综合规划，设计者负责使用标准化的系统和规格，以制定垃圾最少化的方案及高效的建筑工地流程。其他方法也可用于可持续建设的规划。

《工地废弃物管理计划》受环境署和地方政府监管。

6.2 拆除和可回收性

如上所述，建筑和建筑工地是废弃物的主要来源之一。因此，任何建筑的拆除和可回收性必须从源头进行规划。拆除设计也能大量减少废弃物。可回收利用建筑概念刚开始流行，这能使未来的城市采矿变得更加容易。这表明，在建筑设计中已经考虑了使用寿命结束后的拆除。

拆除和可回收性也改变了欧洲市场。企业已经认识到，如果按此方法设计产品能够实现轻松回收利用，就能创造出从摇篮到摇篮的供应链。由于欧洲许多建筑公司已将其物流部门业务扩展至逆向物流，形成了一个全新的子市场。

因此，建筑公司应进行两方面考虑：如果参加投标的不是可持续建筑，材料是否可拆除；如果材料无法拆除，说明它是粘合结构，不可回收利用。如果是后者，它们应考虑替代方案以改善可回收性。

必须重新评估施工工艺，并提出技术替代办法，例如重新加工物质连接或提出替代措施（如机械固定）。在产品/服务达到其使用期限时，可能需要拆卸或翻新结构和装饰产品（如管道、布线、门楣、窗户和墙壁覆盖物）或更换机械/电气产品（如供暖和通风），相关工艺也应被考虑在内。应选择将来方便更换的材料，以便拆除工作产生的垃圾能够最少化。使用模块化组件对这一过程能有所帮助。建筑公司也应了解过程的复杂性及材料的未来可回收性，从中出一份力。任何建筑在其生命周期结束时都有可能变成有价值的建筑材料。

注意：并非所有粘合结构建筑都是不可持续的，例如，如果建筑必须使用钢筋混凝土，其回收支出也在可接受范围。

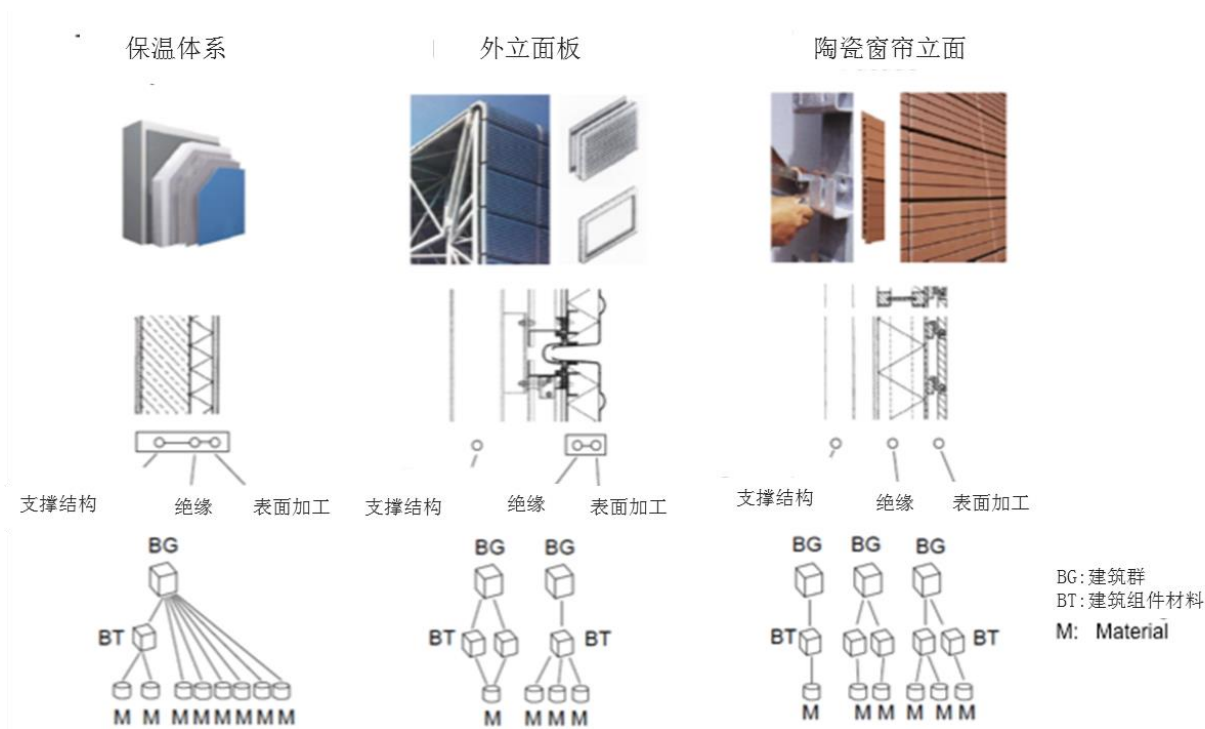


图 14: 可持续拆除的建筑设计

资料来源: 瓦伦汀·布伦纳 (Valentin Brenner), ILEK Diplomarbeit 2010

鼓励或要求选择性拆除时, 当地规划师和监管机构还需考虑回收和处置设施的可用性。此外, 还需通过激励措施, 提高建筑业使用再生材料的能力和兴趣。必须更好地了解这些动态, 才能提供有准确的政策指导。

建筑或产品的使用寿命通常会持续数十年, 因此在未来的监管、市场力量和处理方面, 结束使用寿命的时机可能会发生改变。各国政府应建立监测机制, 以跟踪建筑存量中包含哪些材料, 为未来的可回收性或城市采矿工作提供帮助。这可能包括创建数据库来帮助促进回收活动、制定更好的规范和标准及更好地宣传最佳实践和惯例。此类数据库应包含建成环境材料组成信息, 以便更好地再使用、回收利用和提炼材料。此外, 必须有一份强制性建筑资源清单, 上面列出该建筑所含材料的数量和类型及其回收所需的信息。

应开发系统和工具 (例如, 由德国可持续建筑评价体系提供的基于 Excel 的工具可用于评估和比较建筑和施工技术及其可持续性和可回收性) 为建筑公司提供帮助。

6.2.1 最佳实践范例 - 积水之家 (Sekisui Heim): 日本预制公司的回收理念

日本的预制公司积水之家的回收利用理念十分有趣。积水之家出售建筑, 并保证其在建筑使用寿命结束时予以回购。这些建筑可完全回收利用, 被视为材料的“银行”。这只有通过全面控制建筑过程才能实现。建筑在积水之家的预制工厂建造, 废弃物产生量很小, 可按需重复使用或连接至回收系统。这些建筑均为模块式组装, 可通过紧固或放松钢框架单元的接口逐个组装或拆卸单元。拆卸的单元随后被再次使用, 或在公司自有的拆卸工厂中拆除。经过拆卸和检查后, 组件被出售用于更多建筑。买家通过基于网络的平台与卖家匹配。这种创新工艺为高效的零部件流通、逆向物流和再制造系统以及可持续性更高的建筑带来了机遇。

6.2.2 最佳实践范例 - 可回收利用建筑案例研究

德国的 R128 House 是完全可回收建筑的范例。R128 House 坐落于南部城市斯图加特, 由德国建筑师兼工程师维尔纳·索贝克 (Werner Sobek) 于 2000 年设计建造。这栋建筑的设计与维尔纳·索贝克的“三零”理念有关。该建筑体现了完全可持续的理念: 建筑零能耗、零排放和零废弃物。

R128 House 建在一小块陡峭的土地上，外立面全玻璃，没有内墙，给用户的印象是他们生活在大自然中。该建筑还通过材料的选择和使用及开发资源节约型建筑所需的创新设计诠释了轻型资源建筑。R128 House 采用创新模块化设计和预制结构。这使其不仅可快速建成，而且能够完全回收利用。立柱和横梁用螺栓现场固定，地板用塑料包覆木板预制而成，横梁之间没有螺丝或螺栓，更易回收。主要结构依靠 12 个由两个方向的轨道连接的螺栓钢柱组成。二级结构为立面的三层玻璃窗。该系统能够减少材料使用。所有组件、承重和非承重轴承及立面均可通过螺钉或螺栓构成，通过其他方式可轻易单独连接。该建筑既未使用灰泥，也未使用复合材料。因此单个组件能行完全拆除。该建筑是零能耗房屋，巧妙的设计助其获取被动式太阳能，从而产生所需的全部能源，实现二氧化碳零排放。由光伏电池供电。



图 15: R128 House 的西向立面图

资料来源：维尔纳·索贝克 (Werner Sobek)

7 可持续建设培训

7.1 培训

施工现场的一些最关键障碍是知识库、技能和社会因素（例如建筑业的风险厌恶态度及缺乏意识）方面的缺陷。因此，可持续建设不仅是关乎加强研究和技术供应，而且关乎建筑能力的发展、知识和技能的积极强化及创建先导市场。因此，可持续建设需要训练有素、知识渊博的劳动力。

然而，由于各种原因，这类劳动力通常十分短缺。例如，欧洲国家大都缺少实现 2020 年目标所需的熟练建筑工人。为实现 2020 年目标，3900 万至 4600 万工人需要在 2020 年前提提高能源效率或可再生能源的技术水平。现场施工和产品制造商将面临熟练劳动力的需求，尤其是近可持续建筑领域，因此需要新的专业技能和专业知识。因此，面向未来的工人培训不仅对中小企业至关重要，对于一个国家而言最为重要的可持续目标亦是如此。

培训计划需要解决可持续建筑及转让和套购套售知识和技能等问题。培训还需根据不断变化的需求和技术演变进行调整并不断更新。培训备查证明应记录在案，这点毋庸置疑。

对于每个建设项目，在施工开始前，应与所有相关主体举行会议。这种情况下，包括分包商在内的所有主体都要有可持续发展目标和指标。这里必须有涵盖各方面的详细介绍。这种情况下，必须核实建筑施工队伍的培训情况。如有必要，建议对所有主体进行进阶培训（项目开始前），以便能够根据需要完成任务。木匠和木工、砌砖工和石工及建筑电工被视为最需要进行额外培训的工种。

由于外聘顾问的成本可能很高，因此重点应放在培训建筑公司内部“资源”上，即公司现有员工。从长远看，对于大型公共建筑公司而言，培训自己的员工来提供创新型建筑解决方案，比组建一支新的劳动力队伍成本更低。但是，这对分包商而言通常无法实现。如果分包商无法独立做到这点，那么承包商在培训中协助分包商就至关重要。承包商必须认识到他们也要对分包商的工作负责。承包商和分包商可通过建立长期合作来解决这一问题，例如签订框架协议。

许多国家和地区也有公共或公立机构提供可持续和节能建筑及创新招标模式的培训以及相关支持。其中一个例子是欧洲 BUILD UP Skills 计划。作为欧盟委员会能效计划的一部分，BUILD UP Skills 是一项由智能能源欧洲（IEE）计划资助的战略性欧洲倡议，旨在激励对建筑行业的工匠和其他工地工人进行能效及可再生能源方面的培训。

政府还可提供职业培训、建立市级机构（如“企业咨询局”）促进中小企业创业发展和管理及鼓励中小企业与大公司合作，从而为能力建设做出贡献。

7.1.1 最佳实践 - 供应链可持续发展学校

英国供应链可持续发展学校为解决供应链中的可持续性问题提供了一种通用的合作方式，该学校是一项由政府部分资助、业界提供配套资金的免费虚拟学习计划，于 2012 年推出。

该计划旨在帮助建筑供应商和分包商学习可持续发展知识，并且提升可持续发展能力。

配套资金由一些业内最大的承包商及材料和设备供应商（材料产业联合会（Aggregate Industries）、Kier、联盛集团（Lend Lease）、摩根士丹利（Morgan Sindall）、罗伯特·麦卡宾爵士（Sir Robert McAlpine）、斯堪雅建筑集团（Skanska）、Willmott Dixon）提供。这个项目表明在可持续建筑的施工阶段对所有主体进行培训非常重要。某种程度上，该校旨在消除中小企业往往没有资源进行能力培训的障碍。

培训为相关主体提供了了解和实施可持续建设所需的通用方式及工具。建筑供应链中的任何供应商或分包商均可使用该计划，无论企业规模如何，都希望提升自身可持续性，并且帮助行业打造可持续性更强的供应链。

一项由定制的网络学习模块及其他基于网络的资源构成的在线工具提供核心培训，以满足各种需求。这项工具有助于相关主体评估自身优势和不足之处，以及可通过该工具开拓的领域。该校还提供区域供应商交流日和培训研讨会等面对面的学习课程。

自开办以来，学校已经拥有 6,000 名成员，超过原来的 800 名成员目标，其中超过四分之三来自中小企业。

7.1.2 最佳实践 - 德国的双元制职业培训²

职业课程通常是在高中职业和技术教育项目或技术学院讲授的单一特定职业课程。大多数情况下，这类培训项目的毕业生比同等普通教育毕业生更容易找到工作，这主要是因为他们对手上的任务更加熟练，因此更贴合雇主的需求（Thompson 2013）。

双元制职业制度是德国流行的公认资格鉴定方法。在某种程度上，德国得益于这种培训，高中学历以上的人口平均比例为 58.7%，而欧盟的平均比例为 46.6%。部分原因也是基于这样一个事实：在德国的许多职业中，它被相关职业资格委员会认可为专业资格。这些职业被称为受监管职业。例如，医疗职业、法律职业、公立学校教师、公共服务行业及建筑行业的许多职业都受到监管。

随着可持续建设需求日趋增多，许多建筑职业项目也引入可持续绿色建筑内容作为培训的核心部分。高需求也使专门针对可持续和绿色建筑施工新培训计划应运而生。

官方认可的双元制职业培训项目共有约 350 个。德国的职业培训项目提供以下建筑基本领域的培训：

- 土木工程（地下）
- 土木工程（地面）
- 内饰和表面加工

此外，还有与建筑业重叠的职业，其中包括：

- 商业贸易
- 工程机械相关贸易

与纯职业或其他高等教育不同，由于对资格证书的要求是企业根据自身需要决定的，因此学校毕业证书并非双元制职业培训的先决条件。但是，资格证书越好，学员被企业雇佣的可能性就越高。（备注：但是，德国其他形式的培训，例如基于学校的职业培训或双元制职业学位，必须分别取得学位或大学入学资格）。双元制培训项目于每年 8 月 1 日或 9 月 1 日开始，以便在夏季后直接招收学校毕业生。

培训时长因内容而有所不同，但通常会持续两到三年半。在此期间，学员每周花费一到两天，或者在职业学校（Berufsschule）一次花费几周时间进行理论培训及实践性在职培训。其余时间则参加现场培训。

在职业培训期间，从第一天开始，学员所在公司就为其在职培训支付报酬。平均薪酬约为 795 欧元³。具体数额因地区和培训内容而有所不同。薪酬随每年进阶培训而增长。当然，除此之外，学员的学习时间越长，为公司工作的时间越久，他们的工作效率就会越高。此外，这一培训体系还给予最多 24 天的假期，但只有当职业学校放假时方能享受。

培训的前半期结束后举行考试，作为知识掌握和工作技能学习的证明。培训结束时还要组织结业考试。

培训结束时，学员完全有资格从事他们的职业，大约三分之二的参训人员会被他们参加培训时所在的公司雇佣。这是因为双方了解彼此，双方的业务和培训满足彼此需求，因此双方均能从中受益。学员在完成职业培训后被企业聘用，发展前景良好，这是其在德国广受欢迎的原因之一。³

² <https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index?path=null/reglementierteBerufe>

³ 科隆经济研究所，2007，《德国职业培训》（Vocational Training in Germany），德国科隆

8 可持续发展建筑施工成本及成本降低

建筑材料的成本及创新建筑组件的竞争目前并不被认为是生态创新的强力推动因素。然而，鉴于建筑行业有着最大的材料需求，因此，材料成本与该行业密切相关。实际上，大约 73% 的建筑公司⁴在过去的五年中经历了材料成本的增加（其中 21% 的建筑公司材料成本增加明显），89% 的建筑公司认为在接下来的五到十年里，材料成本会继续增加。因此，可预见的是，未来数年里，降低材料成本方面的努力会不断加大。

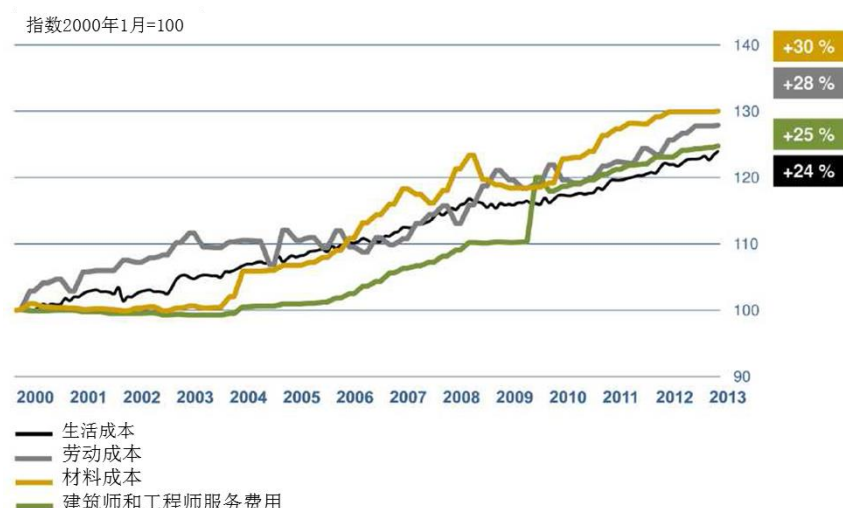


图 16:不断上涨的施工及建筑成本

资料来源：ARGE e.V. 2013

过去，缺乏对生态创新建筑的需求（用户-投资困境）被视为在建筑行业进行生态创新的最大障碍。这种缺乏可能会因业主和建筑使用者对于投资（例如）回报期长的节能技术的动力不同而加剧（斯卡丁格(Schartinger)，2010 年）。

“在建筑及基础设施上的投入能够为应对全球面临的主要挑战提供机遇：重振增长、创造并保持就业、履行在可持续发展上的承诺以及按照《巴黎协定》的要求降低气候风险。”

全球建筑与建设联盟

专家们预测，这一需求状况最终会有所改善：造成这种障碍的相关因素预计从 2015 年到 2030 年会明显减少。

不断上涨的能源价格、材料费用及废弃物处理上的税费预计会推动生态创新，从而促进可持续及可再生材料的利用，同时也会节省各方不必要的开支。

成本决定经济决策，但方法上通常无法尽善尽美。理想情况下，成本不仅需要说明“生态事实”，还需要发现其他负面、间接的影响。相关的例子可能包括：

- 建筑材料的价格相对便宜，而环保材料则过于高昂。
- 翻修费用十分昂贵，因为这不仅需要大量劳动力，还必须具备特定技能。
- 再生材料/重复使用的建材通常竞争性较弱，而波动性较高。
- 能源及资源节约型技术所需材料稀缺；在这里，我们需要考虑原材料价格的波动。这种波动使我们更加难于合理预测未来价格。
- 缺乏专门针对投资生态创新的经济激励。原因可能是缺乏投资支持、税收优惠以及公众支持等。

⁴《生态创新观察》（2011 年）资源节约型建设。

随着世界各国的建筑规范更加严格、环保材料及技术的供应链业已成熟以及建筑行业在推出可持续建筑上更加驾轻就熟，降低可持续建筑设计及施工成本已呈整体趋势。以欧洲为例，根据欧洲晴雨表组织（Eurobarometer）的调查，欧洲 86% 的公司在过去的五年中至少推出了一项降低材料成本的改革措施。

调查显示，可持续建筑并不一定比常规建筑技术更加昂贵。当成本策略、项目管理及环保策略都被吸纳到整个建筑流程时，这种情况更加明显。

可持续建筑是一种全球推动力，而非成本动因。

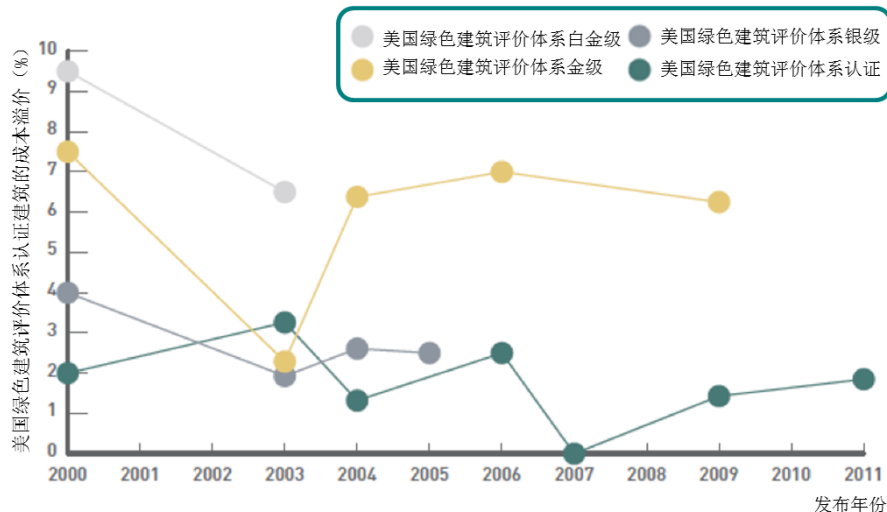


图 17：与美国绿色建筑评价体系（LEED）有关的报告成本溢价（美国）

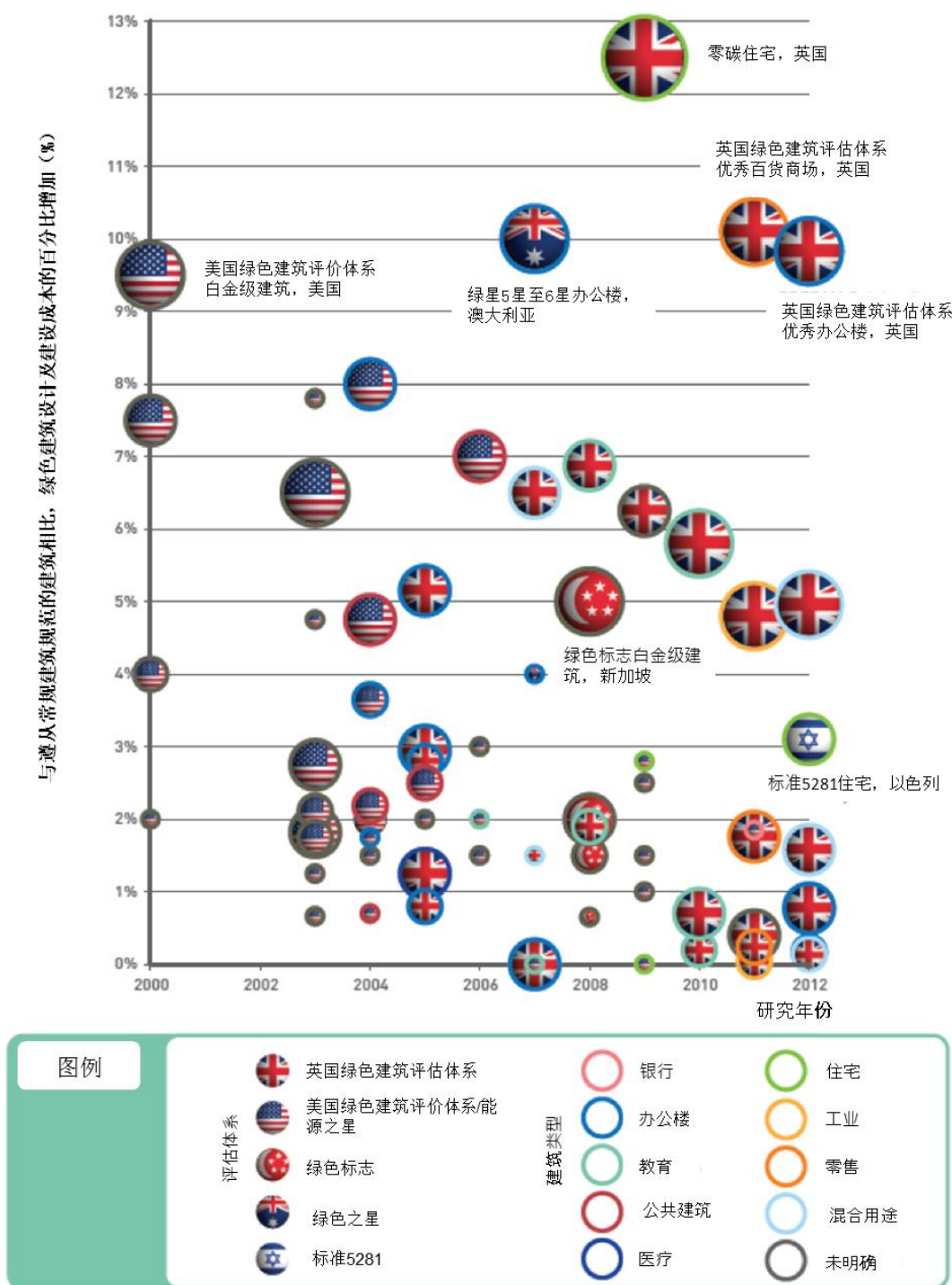
资料来源：WGBC 2013

目前，可持续建筑的建造价格与常规建筑的建造价格大致相当，额外支出的“可持续性”成本可从运营成本的节余及效益更高的工作场所（如果具有合适的设计特点）中收回。有时这些成本甚至会低于常规建筑成本。即使出现成本溢价，也并非像通常被认为的高于 30%⁵ 以上。事实上，这已被记录在世界可持续建筑委员会（World Sustainable building Council）开展的研究中，幅度在 -0.42 到 12.5% 之间（注意：研究中记录的 12.5% 是针对试验性的零碳建筑）。不过，多数溢价介于 0% 到 4% 之间。当然，在最高认证中这一幅度会更高些，在 0% 到 10% 之间。德国可持续建筑评价体系（DGNB）规定的额外施工成本在 0 到 4% 之间（相较而言，美国绿色建筑评价体系规定的额外施工成本在 0 到 7% 之间）。不过，必须指出的是这些成本会被长期寿命周期费用所抵消。

技能、工具以及供应链成熟度的提升意味着与取得认证相关的费用已经有所降低，并且随着可持续建筑逐渐成为主流，费用将进一步下降。我们也可清楚地看到，随着市场的成熟，这些费用会越来越低。

在欧洲，目的建造的建筑，其建造工期可缩减一半，大大节省了总建设成本。例如，在利希滕贝格（Lichtenberg），可持续建筑项目已经没有了获取补贴的资格了，因为这些项目的建设效率较高。

⁵ 桑德拉·戈麦斯（Gomez, S.）（2008 年）。“客户愿意去花钱使用一栋绿色建筑吗？”提升商业建筑会议的能效

图 18:不同来源的可持续建筑报告成本溢价⁶

资料来源：WGBC 2013

⁶ 世界绿色建筑委员会（WGBC）(201):可持续发展建筑商业案例，世界可持续建筑委员会

8.1 设计规划阶段

成本效益分析必须以包含通常与成本无关的因素在内的总成本为根据，例如噪声、空气质量污染及项目延迟风险。不过，寿命周期费用无法总被准确地计算出来，所以此类成本应当作为参考，而非依据。

可持续绿色策略也应当在本阶段加以采用，并包含在预算中，以防止在后期出现成本更高的附加策略。

8.2 材料

在设计规划阶段以及采购及施工阶段，材料的选择及其可持续性可能会对成本造成巨大影响。例如，一些采购价格较为低廉的材料由于替换周期较短，无法在建筑的使用寿命内作为可持续以及经济上可行的替代品，所以它们可能是不可持续的并且无益于生态的。不过，根据欧洲晴雨表组织的研究，建筑材料的价格并不被认为是进行创新或者寻找环保型替代材料的有力动机。预计这种情况会因可持续材料对实现欧盟 2020、2030 年可持续发展目标以及 2050 年能源路线图、2050 年目标变得至关重要而在将来发生变化。

不过，可持续材料的价格目前正在下降。这能够从美国绿色建筑评价体系、英国建筑研究院环境评估方法（BRREAM）以及被动房研究中得到证实，随着市场的成熟，这些费用会越来越低。

在可持续材料的价格比常规材料昂贵时，仔细分析寿命周期费用非常重要。从长远来看，可持续材料的寿命周期费用往往更具成本效益。这对于业主及用户而言是莫大的好处。由于建筑开发商/业主可能愿意花费更高的预付成本来获得一个可实现长期成本效益的方案，所以需要跟他们进行紧密合作。

8.3 施工阶段

可持续的综合设计流程也可通过简化施工流程、提升工作效率以及提供具有成本效益的项目交付来协助降低成本。这意味着必须正确结合各主体。在雇佣所需的合适分包商及专业人员时，应当细致认真。瑕疵品召回以及工作返工会花费时间，并且耗费更多资源，从长远来看两者都会增加成本支出。

材料与劳动力有时是分开采购的，这常常造成从事施工作业的公司缺乏大幅降低成本的动力。这似乎反映出建筑行业中许多主体的中长期战略不尽如人意，应当加以改善。

建筑工地使用的能源节约型技术在能源成本降低上也具有很大的潜力。建筑行业至今依旧缺乏创新能力。例如，在购买、开发和利用供其在建筑工地使用的高效技术上，建筑行业一直明显落后，尽管其具有节约能源及成本的潜力。

减少运输也可节省费用。选择当地供应商供货、及时供货及建筑废弃物运往当地垃圾填埋场均可节省很大一部分成本。例如，开采行业的运输成本平均占到总成本的大约 13%，这使得比较经济的材料运输距离限定在最多 35 到 50 公里（取决于柴油价格）。向垃圾填埋场运输废弃物亦是如此。

8.4 回收利用与废弃物减量

以可持续资源节约型建筑为目标进行设计也是一种成本效益策略。例如，通过减少螺钉及其他紧固件的数量和种类，设计一种“生命结束”时方便拆卸的产品，可降低制造成本。从减少已投入资金的损失和降低由垃圾堆填费及税费产生的成本两方面来看，废弃物减量也是具有成本效益的。

8.5 建筑公司及其可持续发展投资

在保持竞争力上，建筑公司在获取优于其竞争对手的价格或者质量优势上具有内在动力。这种优势往往是通过改进和简化流程以及提升服务和产品的质量实现。不过，由于市场成功的不确定性，所以这样做也伴有与新技术购买支出或者研发支出（“沉没成本”）相关的特定风险。

由于建筑行业的传统性和保守性，建筑公司往往是“观望”，而非充当“先行者”，它们倾向于从开拓者在市场发展的努力中获得最多的好处。对于未来需求的预期不确定时

更是如此，而且缺少消费者的认可及认识往往会加剧这种情况。不过，建筑公司、施工承包商及其分包商如果不去回应市场对可持续建筑及节能改进的需求，就无法在今天的商业环境中成为顶级的公司。

此外，许多可持续发展实践，如施工现场绿色及环保责任管理、土壤及径流管理、废弃物管理处理及实践等，也只有那些有所准备、训练有素、具备能力的建筑公司才能实施。随着可持续建筑的市场需求不断增加，以及伴随着这种增加而对于环保材料及可持续建设实践的使用，市场也会需要有满足这种需求的公司。当通过可持续综合施工流程实现较高质量及更佳的完工时间，使客户满意度提升时，这种情况尤为明显。因此，具备可持续建设实践的建筑公司会因其作业的特性而更有可能参与更多的可持续建设项目。承包商因其专业知识（例如通过培训获得）而具备参加可持续发展项目竞标的能力是一项货币收益。

可持续性已使一些建筑公司增加盈利，通过改变业务模式，它们以新的方式提供产品和服务，从而更加准确地满足客户需求。这就像在减轻产品重量（例如空心地板）的同时又保持功能性一样简单，而且还降低了材料成本及运费。另一个例子是蜂窝钢梁。这种梁使用的钢材比传统的“I”型梁少 25%至 50%，每米成本平均降低 44 欧元。另一方面，在市场越来越期待“更加绿色”的产品时，能够提供环保性能提升明显的产品也可带来更多的竞争优势。

对于建筑公司来说，实施可持续建设可能看起来令人生畏。不过，在了解到它们的角色并认识到可持续性的四个主要领域的实施方法以及这种努力只会带来更多的好处后，它们就会明白，实施可持续建设实践是一种双赢。

9 可持续施工阶段

9.1 相关主体及职责

建筑行业的各主体及其在建造过程中的角色存在很大差异。在项目期间，这些主体紧密合作，在各种协同作业中具有较高的相互依赖性和任务复杂性。这一现象贯穿前期取得合适施工场地，到设计规划、施工、使用阶段直至最终建筑停用的整个过程。所有主体均受到其自身市场内的激励作用影响，并对开发商期望、材料可用性、分供方技术能力以及影响其活动的政府法规等外部因素做出反应。在可持续建设中也是如此。



图 19：建筑施工行业中最重要商务关系

资料来源：世界可持续发展工商理事会 WBCSD，2007

在大多数市场中，建筑施工由私营部门实施，其中包括非正规微型企业、中小企业（SME）和跨国公司。但这一市场在很大程度上取决于各种细分市场或专业内的小规模主体的数量。即使是规模庞大的建设项目，也在很大程度上依赖大量中小企业（SME）供应商和分包商在诸如设计、材料供应与运输、现场技能提供等方面的贡献。

这些关系极为复杂，而建造过程中各主体间的相互作用也不断变化。图 19 显示各利益相关方之间的主要商务关系，表现出它们之间相互作用的复杂程度。所有主体必须共同合作完成复杂任务，并且高度相互依赖。这种复杂的相互作用可能是建筑业供应链保持可持续性的最大障碍之一。许多项目经常存在工作任务碎片化、合作水平差、缺少相互尊重以及损失最佳资源利用机会等问题。这是由于各主体间往往缺乏合力，各自按照自身目标和动机，并在工期和成本限制的压力下运营。这样易使各主体间因为缺少一体化而导致各自的工作重点和动机产生矛盾。长此以往，这一现象便会固化在决策时主要考虑短期财务准则的趋势。

所以，对于成功的建设项目，尤其是可持续建设项目而言，拥有合适的、具有资质的团队显得尤为重要。可持续建筑施工需要所有合作方的早期参与。综合团队过程需主要包括以下相关方：

- 开发商
 - 业主 / 客户
- 设计师、规划师与工程师
 - 建筑师
 - 景观建筑师
 - 工程师
 - 程序员
 - 室内设计师
- 承包商
 - 分包商
 - 专员（安防、电信、声学）
- 材料与设备供应商
- 运营及维护人员
- 其他利益相关方
 - 社区成员
 - 房地产购买者
 - 租户
- 其他

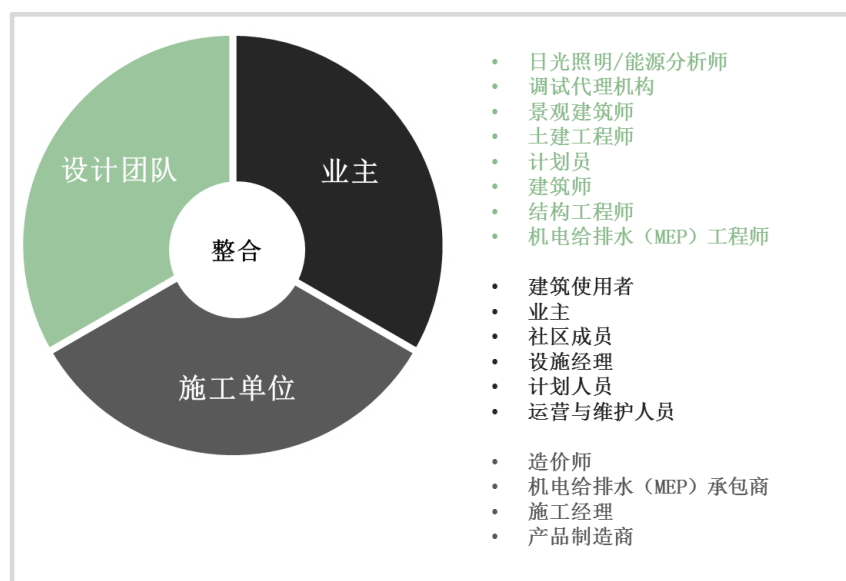


图 20：相关方概览

资料来源：CEC 2015

9.2 可持续建筑过程

建筑需要可持续设计来实现可持续建设，同时应当在相关工具、标准或过程中尽可能采用最佳实践。这必然需要一定灵活性，即可持续性概念可允许采用新的或替代性过程、工具、技术和标准。

在任何建设项目初期，均应建立强有力的可持续性概念，覆盖环境、社会、经济因素的各个方面，应当制定一套可测量、可交付的目标。这些目标必须纳入规划、采购说明、施工过程以及文件中。目标举例如下：

- 降低排放
- 降低能耗
- 废弃物最小化
- 使用当地可持续材料
- 材料回收、使用再生材料
- 材料可持续性返回至自然材料循环
- 降低设备资源消耗
- 降低饮用水用量
- 避免（建筑材料和零部件）运输成本
- 保护自然空间
- 节省空间建筑

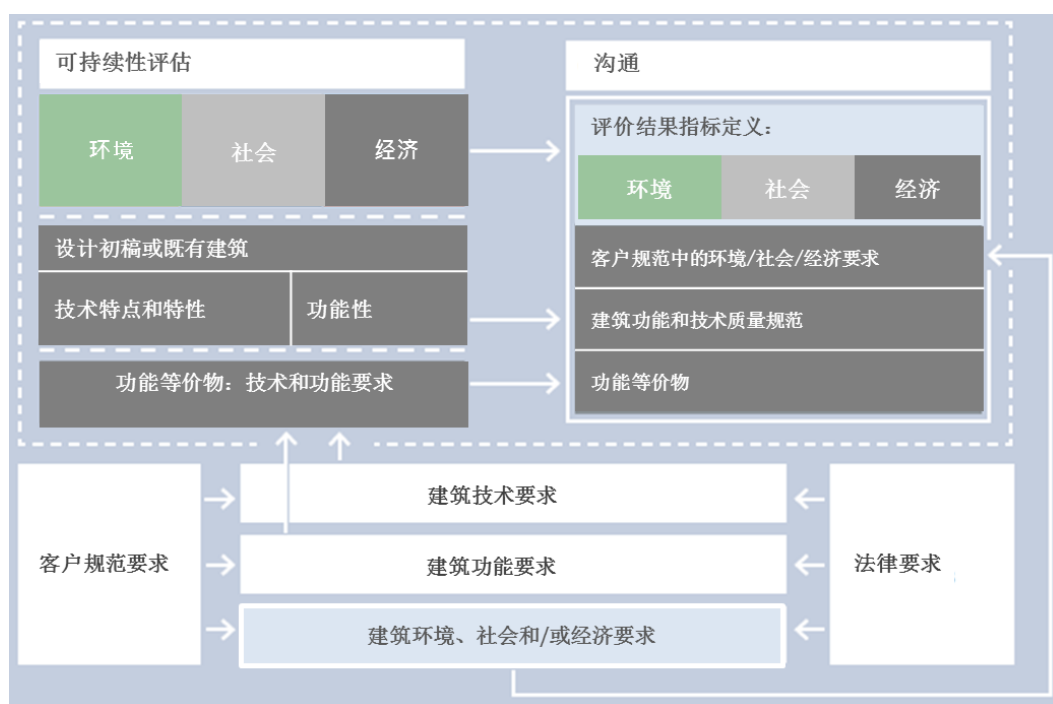


图 21：可持续建筑过程流程图

资料来源：BMUB 2016

9.2.1 其他建造阶段的前提条件——设计与规划

设计和规划阶段对于可持续建设阶段具有最大潜在影响。这一阶段还能对项目的成本造成极大影响，对其可持续性而言尤其如此。

该阶段作出的关键决策可确保最终实现可持续建筑并降低其环境影响，例如通过建筑材料的选用降低环境影响，包括考虑材料来源地、生产方式、回收再利用潜力以及处理机制等方面。举例来说，结构系统的选择可改变施工材料用量和能耗（隐含能源）。

要实现高质量、可持续建设，强烈建议与在可靠性、专业知识和绩效方面表现出适宜性的公司签订合同。因此，在启动可持续建设项目时，应当要求合格的设计和工程咨询公司通过公开或非公开采购政策提交设计服务的方案书。

在合同授予方面，应通过制定环境目标和相关设计策略，并对其可行性和可取性进行评估，从而设定设计策略。在最终规划阶段，可持续性质量目标应尽可能详细描述，从而将招投标过程中的质量损失降至最低。设计负责人完成概念设计后，所有其他咨询主体，包括建筑、建造服务单位以及结构工程单位应为项目提供进一步的技术规格书。在该阶段，根据数量、资本成本和运行成本对材料、饰面、系统、设备等关键规范作出决定。这些规范在多次迭代后最终确定，从而在现场施工开始前满足项目目标。

同时，需尽早开展建筑公司的整合工作，如有可能，该项工作应在设计和规划阶段进行，因为该阶段内可对可持续材料及其采购、现场计划、现场可持续运营、废弃物管理以及未来再循环等作出最优规划。

9.2.2 施工阶段启动

开工前的施工活动包括所有必要主体、材料和技术的调动。该阶段必须确定所有必要合同和安排，包括大部分材料、设备和服务的采购。传统上在设计和规格书主要部分完成后方开始施工，但设计和规格书的某些方面（如材料、饰面和设备供应商等）一般在施工阶段过程中完成。在这一初期阶段，设计师和工程师可在招投标和采购阶段对设计疑问、调整和变更进行商议，从而确定最为可持续的建筑施工路径。

招标文件和合同中将制定针对建筑商的可持续标准和产品环境义务。但这不仅是简单地将要求沿价值链传递，需要进一步交流并清晰定义可持续性目标，尤其是针对分包商。因此必须明确可持续建设过程，确保所有层级均履行相关职责。所有过程需由总承包商协调，包括材料控制和计划、施工过程效率、废弃物管理和植株与能源选择等过程。必要时，需使用更适合相关工程的专业承包商。缺乏专业度的承包商由于出错和返工造成的浪费会在长期增加成本支出。

因此可运用采购作为工具，指导并推动目标的实现。

合适的控制流程也同样重要，可用于监控并评估对于既定目标和指标的符合性，从而确保可持续规划得到实施，因为较高的可持续概念要求通常需要进行进一步质量控制措施。除了对于建筑材料及其相应声明的控制以外，施工执行质量（如气密性、保温设计）也必须通过适当措施进行监控。

对于创新的推广不应止步于合同的签订。应在建筑合同中加入相关条款，对承包商在合同期间的持续改进和创新给予激励。举例包括：

- 设置（超额）完成关键指标（如能效、再生产品使用、废弃物减量和运输等）奖金；
- 加入分红条款，允许发包方和分包商从规划成本节约部分中获益；
- 合同中建立“创新基金”，通过创新节省的费用（如 LED 照明）由承包商和分包商共享；
- 为创新规划变更提供合同续签选项；
- 合同制加入“技术更新条款”，强制供应商定期更新旧技术或引入新技术。同时必须给予合理的经济偿付期；
- 推广最佳可行技术，向高能效和可持续性技术切换。该做法可与奖励或惩罚款挂钩，使项目开始阶段即可确保采用最佳可行技术；

供应商关系管理对于可持续建设而言也日益重要。与供应商保持长期合作关系的承包商可鼓励其开发并运用材料和创新技术。

9.2.3 可持续材料和材料采购

除非招标文件中开发商政策另有规定，总承包商应负责选择材料和设备供应商以满足设计规范，即直接影响资源可持续性的决策。对于不用于建筑本身，仅用于辅助施工的材料和过程（如模板选择、材料控制和计划、施工过程效率、工地和废弃物管理、能源选择等）的相关决策由总承包商作出。如果没有开发商可持续政策的指导，此类决策可能会存在缺陷或对环境造成影响。

应根据产品/服务整个生命周期评价所选材料和技术的环境影响。可采用独立材料认证、生态标签和来源认证辅助评估，并以此规范要求。但应允许供应商通过其他方式证明所提供材料和技术符合招标文件内的环境标准。证明方式可包括实验报告或供应商提供的信息。

在规范制定阶段，必须基于建筑产品的用途——根据标准化或经核准的评级或等级——及其环境和健康相关特性细节进行指定。EN 15804 标准：“建设工程的可持续性——环境无害产品声明——产品分类和建筑产品的核心规则”对工具和方法的统一提供了指导，确保选用并采购生命周期影响最小的材料。

部分非建筑材料通常在施工阶段指定，包括石膏板和模板（如木材）。这些也必须纳入资源节约型和可持续性建设工地和材料采购过程中。

建筑材料的采购过程和供应链往往十分复杂，有时甚至是国际化采购，导致较高风险的社会、经济和环境负面影响。因此，建筑材料的选择和采购会影响建筑的隐含能源和生命周期影响。

同时还需考虑制造商和供应商的资质。大多数欧洲建筑企业、零售商、公用设施企业、公共机构和政府组织要求其供应商和分包商证明其对于环境影响的管理。例如，对于材料的负责采购拥有多个认证和鉴定项目，如针对木材的森林管理委员会。

材料采购应做到在需要材料的建设阶段准时化交付。这样可节省施工现场场地，从而无需改变额外场地或使其保持自然状态，同时有助于减少现场污染危险以及材料本身的破坏。存放于现场的材料，如木材或织物，可能因长期存放而损坏。准时化交付还具有经济效益，可改善建设过程中的现金流情况。

可持续材料采购的最佳实践范例

作为全球最大建筑公司之一，斯堪斯卡（Skanska）将自身视作可持续性的领导者，要求所有供应商和分包商遵守其可持续性愿景和对于可持续建设的要求。所有产品、材料和服务的选用和生产必须符合这些要求。该公司甚至做到“仅和了解所提供产品、材料和服务性质并认识到保护环境职责的供应商和分包商合作……”。⁷

9.2.4 专业间互动优化

建设过程顺利与否经常受到各分包商目标以及项目整体的稳定可持续建设过程目标之间不统一的影响。由于作业流程（尤其是各专业间）难以通过透明的方式进行说明，使得这一问题进一步恶化。

项目的所有主体均应了解项目及其可持续性目标，并认识到该目标是关键推动力。研究表明，通过在现场为所有主体将过程和产品运用目视化方式体现，可完善工作流程。该方式应显示如何保障工作流程稳定性、确保团队间的协商和承诺、鼓励并支持精益生产计划，包括精细化拉动流程控制以及如何进行有效沟通。应提供支撑文件和标准等内容加以指导并监督，并在合同内和采购文件中明确不合规的可能惩罚。

各专业间互动性差的例子可在围护结构保温作业中体现。保温、油漆和泥工专业间沟通不充分可导致嵌缝处未放置保温板（嵌缝处开放），从而导致缺陷及结构破坏，产生热桥及霉点、热损耗，增加湿气渗透，增加供暖成本。这一问题最终将由总承包商负责并对外立面进行返工。这不仅对于承包商造成损失，对于开发商/业主同样带来损失，并且由于材料和能耗的增加影响可持续性。

各专业间互动关系的优化能够带来可持续性做法，包括材料在需要的阶段进行准时化采购和交付，减少工期拖延并降低项目成本。

建筑信息模型 BIM 的运用可解决专业之间互动关系的问题。它在控制系统中提供了工作流程可视化的强大平台，同时还支持团队之间现场和场外的拉动流程和更深入协作。

9.2.5 废弃物减量

可持续建设最重要的因素之一就是减少废弃物、噪声、灰尘，土壤和水体保护以及降低排放、优化材料使用以及使用可持续材料。

9.2.6 质量控制

执行设计规划阶段设定的可持续性目标需要进行质量控制。设定目标时，需要通过合适的工具制定卓越的监控和审核流程。行之有效的自评工具有助于这一流程的顺利运行。监控、政策以及相关工具应清晰透明（更多详细内容，参见 5 施工阶段的质量控制）

9.2.7 施工阶段结束

只有根据相关检验、试运行和测试发出承包商竣工证书后方可（有条件）认为施工阶段结束，并将现场移交给开发商。此后有一段缺陷负责期，在此期间任何缺陷都应得到纠正，之后出具最终证书，表明建筑工程已竣工。该证书通常与建筑或运维手册一同发布。

⁷资料来源：建筑行业生态设计（EDECAN, Eco-design for the construction industry），英国，南安普顿

此类文件对于可持续建筑现场而言为必要文件，表明该项目符合规范和根据建筑开发商/业主期望所规定的要求标准，并包含运营和进一步维护任务的时间表。

9.3 可持续建筑过程优化

9.3.1 整体可持续设计方法

建筑施工是一项复杂的过程，而绿色和节能建筑则更为复杂，尤其是在建筑的整个建造阶段中需要做到更加绿色和节能的情况下。传统的设计-招标-建造合同存在诸多缺点，包括：

- 由于在确认承包商之前需要完成所有设计工作，项目完成时间更长。
- 项目阶段交接是存在知识流程。
- 不同的公司和个人在不同的阶段进入项目，只负责其专业或责任领域的内容。
- 相互独立的合同使团队产生竞争动机，导致发展出敌对关系。
- 根据最低投标价选择承包商节省的成本最终被变更单、施工返工、诉讼或质量下降所产生的额外费用抵消。
- 就能源效率、节水效率以及居住者舒适度而言，绩效结果远远不能达到成本效益角度可实现的目标。

采用整体可持续设计方法可消除这些缺点，并且在实现可持续建设阶段中尤为重要。整体设计方法综合考虑建筑组件及子系统以及其潜在交互性，从而实现协同效应。整体建筑设计核心理念是所有建筑系统互相依赖，理解这一点是该方法的基础。

整体设计方法不同于依赖于各主体（如相对独立作业的专业领域知识）的常用规划和设计过程，要求相关主体尽早参与进来。

开始预设计前，整体项目从探索价值的启动会开始。根据项目规模和复杂程度，启动会可能持续数小时甚至数日。团队成员必须探索项目内在价值并同意与项目价值保持一致。此时应在施工前对每个主体的角色职责进行回顾。

必须针对所有重要建筑工艺和技术的使用进行材料资源和能耗及相互关系的研究，如有必要可回溯到设计和规划阶段。这样方能实现建造阶段的优化规划的管理。

对于可持续建筑的要求必须记录在所有招标文件和合同中，并且必须具有约束力，从而确保施工现场的最高质量。

每个项目都具有特殊性，因此上述各要素的重要性也有所不同。但单独一项设计要素永远不应成为项目的唯一驱动力，否则无法满足短期和长期的“整体性”目标。

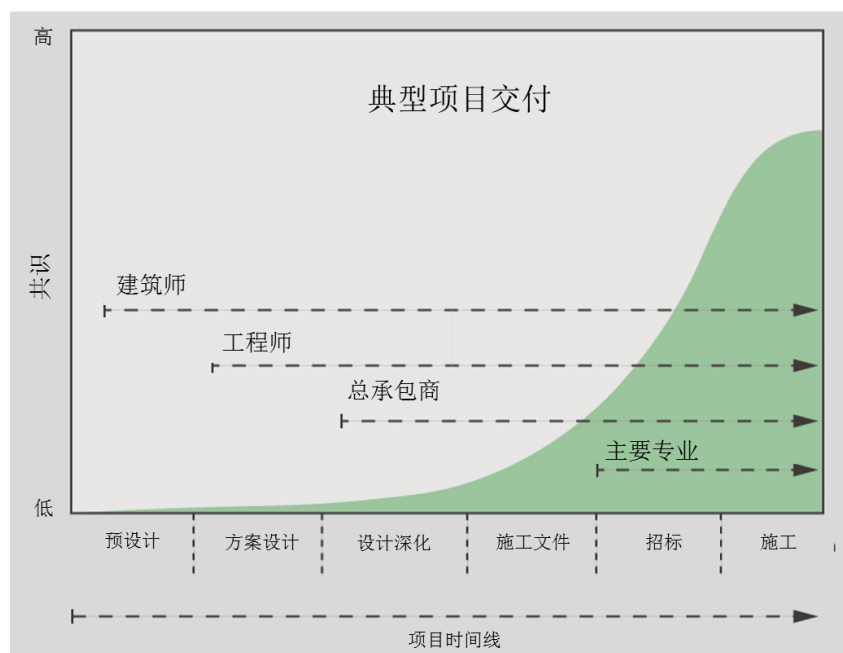


图 22：典型项目设计与交付

资料来源：环境合作委员会（CEC）2015 加拿大，蒙特利尔：环境合作委员会

维持综合团队的高度协作性需要大量努力。优化规划 workflow 是实施可持续建筑的基础。在整体设计和交付方法中，业主或开发商需在项目伊始就遵守该方法，从而在整体设计和交付中扮演着重要的角色。项目所有者在预设计阶段加入团队是很有必要的。业主从团队选择开始就积极参与，对新业务模式和相关资本成本增加持开放态度，并且不断与项目团队合作。这使建筑师无需负责控制与业主的沟通，从而转向协调承包商并教育整个团队设计决策的重要性和相互关联性。

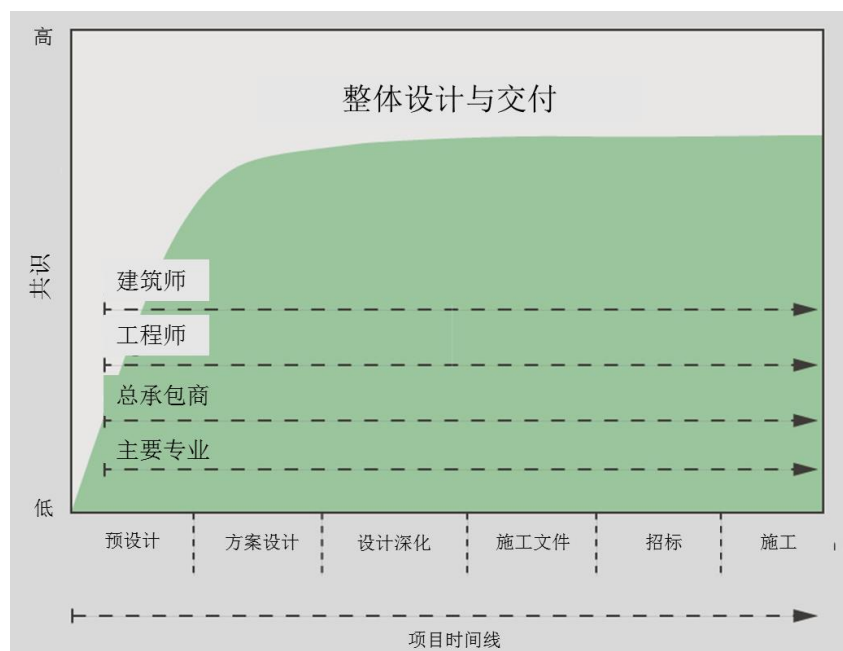


图 23：整体设计与交付

资料来源：环境合作委员会（CEC）2015 加拿大，蒙特利尔：环境合作委员会

总承包商的选择通常也在设计过程的早期阶段完成，使其能够在成本、可施工性方面提供输入并参与对标研讨会等工作，从而理解并满足设计期望，避免施工过程中发生重大变更。整体设计要求高度细节化，早期整合有助于实现这一目标。该做法同时还能够后期施工时节省时间，避免困扰。

除建筑设计与总承包单位外，设计过程早期还需引入不同专业的服务主体。专业人员通常可根据其经验在建筑图纸中发现细节上的失误。在设计早期将其引入有助于将任何必要的变更纳入设计中，确保施工文件的完成，以便所有的施工人员在充分了解工程的情况下开始施工。一项研究估计，这种做法可通过预防返工和延期节约 7% 至 11% 的建设成本。



图 24：整体可持续建设过程工具

资料来源：WEF 2016

可在整个项目期间聘用项目推动者或项目经理，以改善和维持不同利益相关方之间的合作。同时还应制定标准操作程序，以提供持续的反馈渠道，减少变更并避免不必要的延误，从而最终降低成本。团队规模越大、经验越欠缺，项目推动工作量和实用性就越强。

每个设计师和建筑工人的技能水平和合作经验也不尽相同。为保持团队运行的高质量，必要时需持续进行指导、推动和支持工作。

9.3.1.1 最佳实践范例 - 精益建造

精益/整体项目交付（精益/IPD）是用于应对 20 世纪 60 年代以来日益降低施工人工效率/生产力降低问题的方法。当今 70% 的项目超出预算且交付延期。精益/IPD 源自由丰田始创的精益生产理念，重点关注对客户价值、受控流程以及追求完美。该过程鼓励合作并通过整体设计交付方法提供切入点和协同力。

为此，许多精益做法可在整体性项目中成为实用工具：Last Planner®系统包括细节程度不断递进的计划，有助于制定更为可靠的施工生产计划，其理念来源于“协作式拉动计划”；准时化交付系统可是材料浪费和储存问题最小化；根本原因分析可用作协作式问题解决工具。这些工具都可纳入到建设过程中，但仍需重点关注设计早期进行对标和参与性输入以确保其成功运用。

精益建设随后被精益建设学院（Lean Construction Institute）等组织开发为包括各种专用技巧的管理方法，追求工程建设价值最大化和浪费最小化。

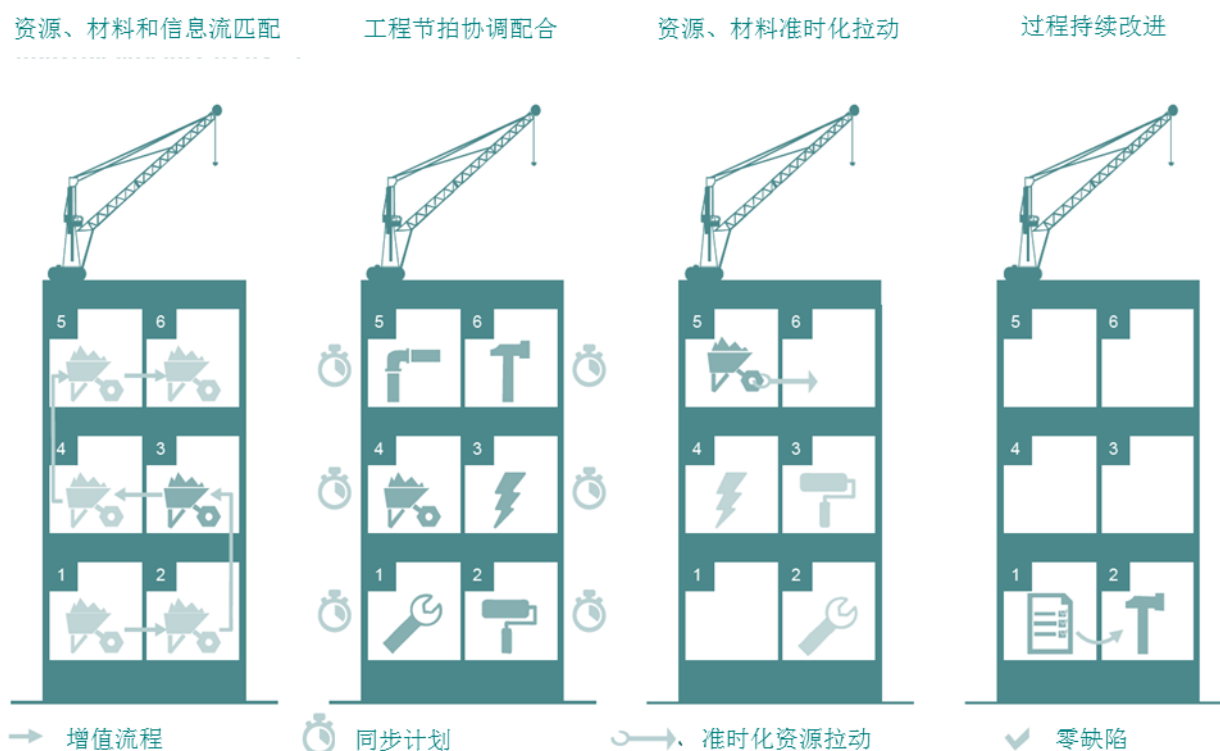


图 25：精益建设阶段步骤

资料来源：WEF 2016

9.3.2 预制加工和工业化建设

建筑业是迄今为止仍然在实施中采用单一构件方式的少数行业之一。汽车行业等其他行业已经转型为工业化加工生产方式。这一点主要因为很大程度上建筑在设计上具有定制化的特性。

工业化建筑被定义为“运用现代系统化设计方法、生产计划和控制以及机械化和自动化制造的建筑技术”

国际建筑工程研究与创新理事会（International Council for Research and Innovation in Building and Construction）

传统建筑行业非常保守，知识传播不畅，对创新可持续建筑技术接纳和运用不足。然而，由于在业内占最大比例的小微企业和中小企业对于工业化和相关资源效率和可持续性缺乏动力，整个行业内需要进行改变。

高度工业化能够带来诸多益处，包括资源节约和生产力提高、有效合作、减少浪费、减少职业健康危害、提高建筑速度和、优化拆除方式等，从而带来更大的环境和经济节约效应。

新的技术进步也已经将该行业推向了主流。信息和通信技术、机器人和智能化进步正在为定制化创造更高效的可能性。结合数字化，这是通向第四次工业革命即建设 4.0 的道路，从而带来更具经济和资源效率的建设行业。

施工现场已经可看到预制加工和工业化建设，部分现场施工作业已实现机械化和建筑构件预制加工。然而，这并不意味着大规模生产预制建筑构件，而可能是在日益机械化自动化的建筑过程中对技术加以应用。同时也可能采取汽车行业策略，将当地工厂集成到分布式和灵活的工厂网络中，从而准时提供预制定制构件。

这些新进展也通过提供定制和施工的便利性帮助打破预制施工的单调性。产品可进行定制化设计，以用户为中心的创新为目标。

预计未来的预制和工业化将为建筑行业带来根本性变化，可持续的经济型建筑将有灵活设计、易于施工、解体和再制造。与其他行业一样，建造时间也会较过去大幅缩短。

9.3.3 可持续建筑施工中的建筑信息模型 BIM - 通向建筑 4.0

即使拥有丰富的可持续建筑标准和工具，对于可持续建设的跟踪仍然欠缺。目前的设计、施工和设施管理工具对于建筑本身、构件和材料以及相关分析并未提供足够信息。传统的方法需要大量人力资源消耗，这意味着高成本和高耗时。业主在控制成本和按期交付方面面临多项挑战超过 60% 的主要资本项目未能达到成本和工期目标，30% 的施工成本耗费在返工上，55% 的维护属于响应性维护。建筑信息模型（BIM）提供了能够缓解这一问题的工具。建筑信息模型的使用也是第四次工业革命——建筑 4.0 的第一步，实现建筑行业的可持续、工业化和数字化。

建筑信息模型 BIM 是“建筑的物理和功能属性的数字化表达，它将建筑的信息作为一个统一的知识库，为从早期规划到拆除的整个生命周期的决策提供可靠的基础。”通过建筑信息模型的运用，建筑的数字模型可从建筑师传递给承包商，然后传递给业主或运营方，不会丢失信息。

建筑信息模型为开发商、建筑师和工程师提供了建立虚拟模型的可能性，其中包含建筑的所有相关信息及其环境、经济绩效等。

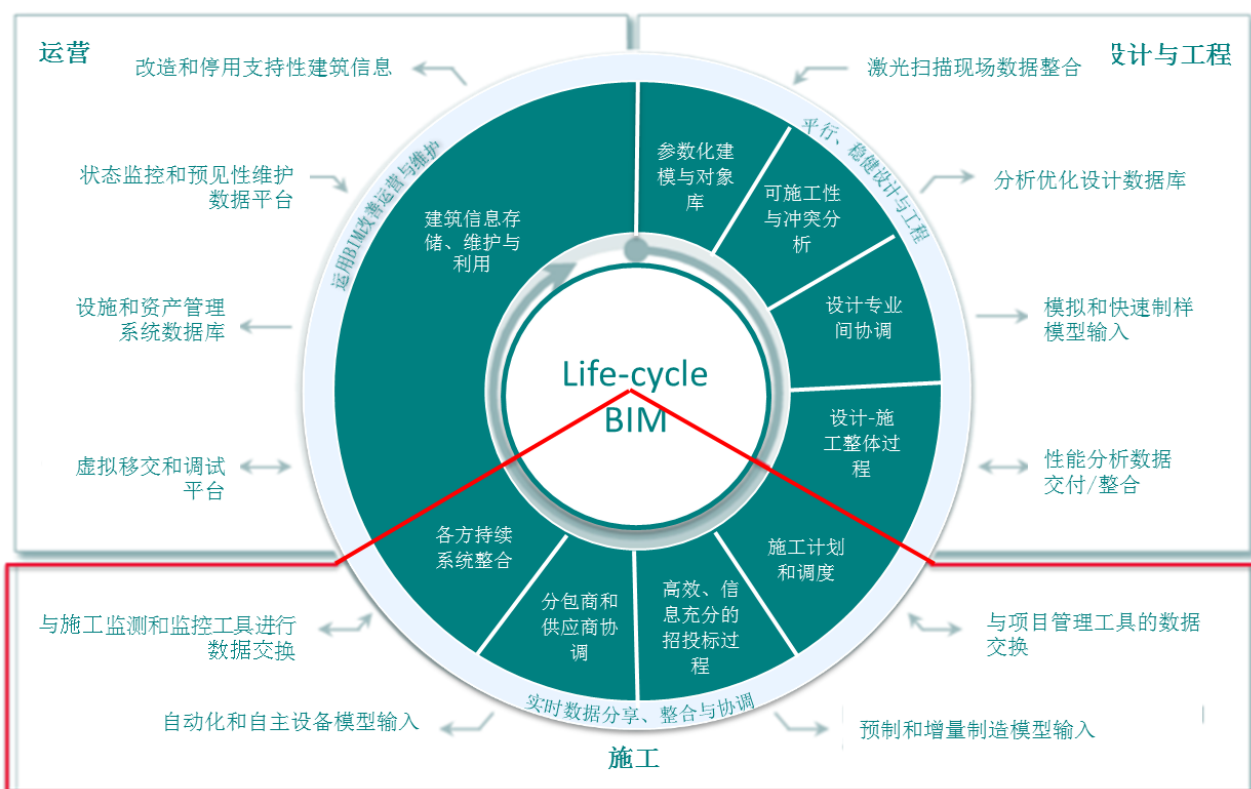


图 26：在施工阶段使用建筑信息模型

资料来源：WEF 2016

通过该工具可快速有效地在建筑开发过程中设定目标并在各阶段进行监控。同时还可对项目的可行性进行分析，从而设计出可降低浪费优化能源利用的结构。通过该工具还能进行合适的规划，使各主体可评估初始规划的可持续替代品，即使用替代材料。通过建立准确的工期计划时间表，计算并进一步降低建设项目成本，准时性规划也可因此大幅改善。建筑信息模型的协同操作特性有助于相关主体之间的协作和沟通，并提供经理在

建筑生命周期的每个阶段所需的信息。它还可通过突出施工过程中的瓶颈和场地限制来优化整体工期。

建筑的成本、成本效益以及生命周期评价也可使用建筑信息模型轻松计算，并且可在相关阶段动态更新。Bailey 等人（2008）的报告显示，在过程中融入建筑信息模型 BIM 不仅可缩短设计和文件工作时间，而且可最大限度地减少各个施工阶段所需的工作量、时间和资金。在法国，承包商估计建筑信息模型 BIM 在缩短批准和许可用时的同时还缩短了施工工期。2007 年斯坦福大学的一项研究表明，BIM 预计减少了 40% 的未编入预算变更，但其估算速度提高 80%，通过冲突检测节省 10% 的合同成本，并将项目工期缩短 7%⁸。麦格希建筑信息（McGraw-Hill Construction）的一项研究（2014）⁹显示，德国所有运用建筑信息模型的承包商中，97% 取得了投资回报。对于投资回报率的估算最高达到 10% 至 25% 之间。

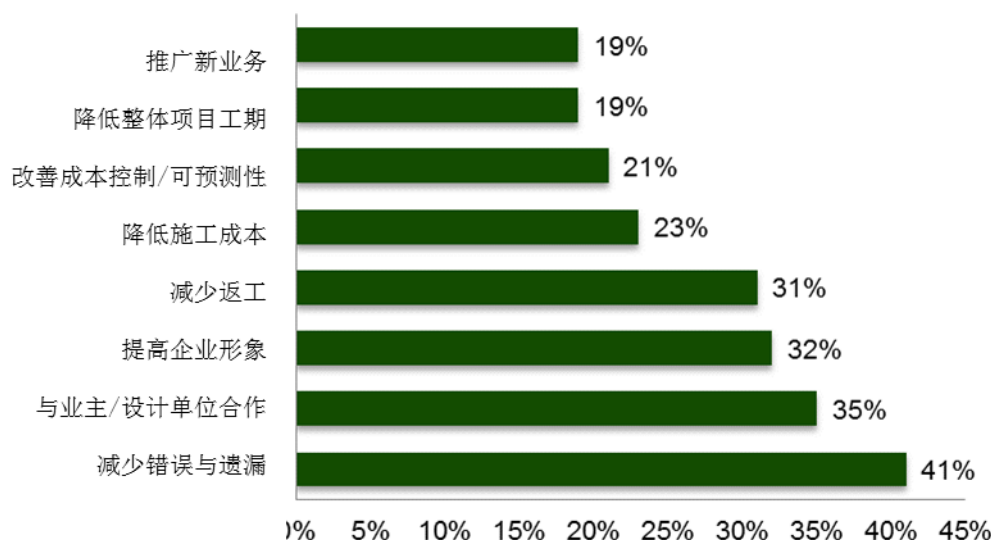


图 27：承包商认可建筑信息模型 BIM 的益处

资料来源：麦格希建筑信息. McGraw-Hill Construction

设计信息随时可供现场使用时需要能够对模型对象按状态进行标记和筛选。BIM 模型在现场发布的批准需要采用数字签名进行。模型中集成激光扫描可提高施工现场信息准确性以及对于建造过程的控制水平。通过扫描建筑元素还能够提供工程项目的协调匹配性，保证准确、按时交付。举例来说，该方法可对复杂的管道工程进行预先规划的预制工作，确保正确材料按时进场用于施工/安装。

建筑信息模型 BIM 还能对以模型为基础的预制工作带来极大益处，加速了模块化建筑行业并保持低成本，同时可实现更丰富的模块类型、优化材料使用并减少材料浪费。还可使建筑企业像生产标准化产品一样轻松制造并装配更为复杂的构件。

工作流程协调改善还可提高工地现场能效。

⁸整合设施工程中心（CIFE）。2007。2007 年虚拟设计与建设运用：重要价值、迅速增长及明显商机。整合设施工程中心技术报告#TR171。

⁹麦格希建筑信息（2014）：智能市场报告：绿色建筑信息模型——全球主要市场中建筑信息模型的商业价值



图 28：建筑信息模型 BIM 对可持续发展的影响

建筑信息模型 BIM 通过变化追踪、材料使用以及实现更为重要的材料需求量精确测算，调整材料订购从而减少浪费。

运用建筑信息模型 BIM 的一个意料之外的益处，则是建筑工地安全水平的提高。由于实行综合规划、准时交付和业务流程改进，建筑工地安全水平预计也会受到积极影响。

建筑信息模型 BIM 方法在欧洲的运用日益普及。欧盟委员会环境科学政策的建筑信息模型简报（2012）中建议，为提高建设项目的可持续性，设计和施工专业人员可从接受更多关于建筑信息模型潜在益处的教育中受益，并且应当采取措施改进信息交流。然而改进空间仍然巨大；一项研究发现，承包商和从事设计-建造项目人员认为建筑信息模型是一项帮助改善可持续性的有效工具。但是对于建筑师以及从事传统项目交付企业的人员却并非如此。传统项目交付方式中的设计和建设阶段由互相独立的主体承担。行业习惯也举足轻重，对小型分包商实施高要求建筑信息模型时需引起注意。因此，为提高建设项目的可持续性，研究认为设计和施工专业人员可从接受更多关于建筑信息模型潜在益处的教育中受益，并且应当采取措施改善信息交流。

因此，有必要对建筑信息模型 BIM 等类似实用工具进行推广，协助可持续建设过程的实现。此类工具可通过辅助专业人员（建筑师、设计师、顾问）在施工前预测建筑结果将其在生命周期内对环境的影响最小化。基于建筑信息模型 BIM 的软件工具可支持可持续设计，并将建筑信息和与材料、房间容积等相关的数据导出为可持续建筑可扩展标记语言（gbXML）和工业基础类（IFC）。

备注：可持续建筑可扩展标记语言（gbXML）是一种开放架构，旨在促进将储存在建筑信息模型（BIM）中的建筑数据传输到工程分析工具中。

因此，它是一个生命周期决策工具，并在所有阶段提供协作，改进建设和采购流程，辅助项目和后期设施管理，它对可持续性和可持续建筑十分有用。据麦格希建筑信息数据¹⁰，27%的建筑信息模型使用者认为建筑信息模型 BIM 在绿色改造方面具有高度适用性。

9.3.3.1 最佳实践范例 - 新卡罗琳医院 (New Karolinska Hospital)

新卡罗琳医院（NKS）是一家位于瑞典斯德哥尔摩的医院。该医院被认为是世界上最大政府和社会资本合作项目，总投资高达 30 亿美元（其中施工投资 16 亿美元）工程于 2010 年开工，预计 2017 年竣工。

除了核心医院大楼之外，该项目还包括一个停车场、科研楼、技术楼（处理医院的能源供应和分配）、癌症治疗楼（放射科大楼）以及连接建筑的新建道路以及通往新建地铁站的入口。该医院竣工后将占地 32 万平方米，并将拥有超过 12000 个房间，35 个手术

¹⁰麦格希建筑信息（2010）：智能市场报告：绿色建筑信息模型，建筑信息模型如何对绿色设计和建设产生贡献

室和 17 个磁共振成像（MRI）设备。这座位于斯德哥尔摩北部的医院和研究综合建筑群将对新 Hagastaden 社区的发展作出重要贡献。



图 29：施工中的新卡罗琳医院

由于该医院的国际声誉且获得了大量政府投资，一直以来都处于公众和媒体的高度关注之中。因此，所有相关方在按时按预算完成项目方面都面临巨大压力。但是施工作业必须在不影响位于附近卡罗琳大学医院旧楼以及研究型卡罗琳学院正常运行的情况下展开，加大了施工的复杂性。满足相关噪声、灰尘和交通水平要求也充满挑战。

在此次设计和设施管理的项目协议中对建筑信息模型 BIM 做出了强制合同要求。院方希望在整个生命周期运用先进建筑信息模型工具，这不仅包括设计阶段，还包括运营阶段的设施管理以及今后的拆除工作。整体建筑方式优先考虑了顺畅的沟通和协调工作。项目高峰期有 300 名设计师全职工作，现场工人近 2000 人。为了更好地协调和沟通，3D 模型和数据库间进行互联，用于储存移交文件。各主体只需“点击”对象即可获得相关文件。建筑信息模型与环境数据库互联，数据库中包含了建筑中使用的所有材料信息；该做法加快了环保认证，并且可跟踪材料以备将来更换。设计信息的保有再也不是问题。

即使是小型承包商和分包商也在初期就参与到建筑信息模型的运用中。供应商和分包商接受了建筑信息模型益处宣导并参加培训课程，从而更有效地实用工具。如有需要，总承包商可提供进一步的培训。此外，项目人员实行国家间、项目间和项目阶段间轮换，提高知识转移效果确保整体建筑方式紧密运作。

整个项目实施从可持续性角度出发，而施工过程是对可持续性的认真详细规划，确定优先使用当地生产、回收和低排放材料以及 FSC 认证木材。此外，对建筑废弃物进行系统性分析，其目标是实现零废弃物。2010 年，通过现场粉碎回收处理，只有 5% 的建筑垃圾以填埋方式处理。同时，通过使用混合动力和低排放卡车进一步减少排放。

该建筑取得了美国绿色建筑评价体系（LEED）金级认证以及瑞典绿色标志金奖。

新卡罗琳医院项目的经验包括：

- 实行国家间、项目间和项目阶段间人员轮换，提高知识转移
- 所有利益相关方在项目整个生命周期中运用建筑信息模型 BIM，实现收益最大化
- 向供应商和分包商宣导建筑信息模型 BIM 益处并提供培训课程，使其有效使用该工具
- 设计信息的保有再也不是问题
- IT 基础设施要求需在项目开始前充分调研
- 设计交接格式需进行适当的测试
- 新硬件的问世加速了模型在现场的运用用途有时难以预测
- 设计信息随时可供现场使用时需要能够对模型对象按状态进行标记和筛选需采用数字签名批准模型在现场的发布
- 定义竣工模型内容
- 在整个项目中执行全范围一刀切合同要求较难实现
- 不可忽视大量“小型”设计-建造承包商将其设计纳入建筑信息模型
- 行业习惯举足轻重，对小型分包商实施高要求建筑信息模型时需引起注意
- 在设施管理过程中运用竣工模型对细节和准确性提出更高要求需要采用新方法，如激光扫描等
- 长期交付项目需要中立接口和通用对象。

专题：保温工程施工

10 外墙保温技术的发展与技术现状

随着中国城镇化的快速发展，人民生活水平的不断提高，建筑能耗的总量还会增长。如此巨大的能源消耗，不光是大量耗用煤炭，还造成了空气污染和生态破坏的恶果。因此，要求我们共同努力，继续积极大力做好建筑节能工作，推进节能减排技术和产业大发展。节约建筑用能是保证我国国民经济持续发展与人民生活不断提高的迫切需要，是我国节能减排的一个关键领域。经过近 30 年的努力，建筑节能工作已在全国各地深入展开，对新建建筑全面实施建筑节能设计和施工，并对数量巨大的高能耗既有建筑有计划地推行节能改造，为节约能源、保护环境、应对全球气候变化、推进国家经济社会可持续发展做出了重大贡献。

10.1 国外墙外保温技术的发展

10.1.1 国外墙外保温技术的发展现状

外墙保温技术起源于 20 世纪 40 年代的欧洲，二次世界大战后，能源成本变得十分重要，欧洲人开始研究如何降低其能源消耗。德国发明了膨胀聚苯板（EPS 板），1957 年应用于外墙外保温，1958 年研发成功具有真正工程意义的 EPS 板薄抹灰外墙外保温系统；在欧洲其最初是为了弥补墙体裂缝，但在其后应用中发现该技术具有很多优点。同时还具有保温隔热性能良好，施工速度快，经济性好，节省建筑空间等。

20 世纪 60 年代，Dryvit 从欧洲引入外墙外保温技术到美国，并根据本国的具体气候条件和建筑体系特点进行了改进和发展。70 年代中期，由于石油禁运影响和对墙体节能技术研究的展开，外墙外保温技术得到了快速发展，建筑节能要求的提高，外墙外保温及装饰系统在美国的应用不断增加。

之后爆发了世界能源危机，因为能源短缺，在欧美各国政府的大力推动下，外墙外保温技术的市场容量以每年 15% 的速度递增。欧美在几十年的应用历史中，对外墙外保温技术进行了大量的试验研究，如：薄抹灰外墙外保温系统的耐久性、防火安全性、含湿量变化问题、在寒冷地区应用的结露问题、不同类型的系统在不同冲击荷载下的反应、实验室的性能测试结果与工程应用中实际性能的相关性等。

到了 20 世纪 90 年代，随着建筑节能相关法规的颁布，对外墙外保温体系的研究和标准的编写也更加被重视。至 90 年代末，其平均年增长率达到了 20%~25%。外墙外保温技术从美国南部的炎热地区到寒冷的北部地区均有广泛的应用，效果显著。除了 EPS 板薄抹灰外墙外保温系统外，美国以轻钢或木质结构填充保温材料居多，对保温材料的防火性能要求较高。

在大量的试验研究的基础上，欧美国家对外墙外保温技术开展了立法工作，包括建立外墙外保温系统的强制认证标准，以及对于系统中相关组成材料的技术标准等。经过多年研究在不同地区、不同环境下的实践应用，外墙外保温系统在欧美等发达国家已经有了严格的规章制度、完善的认证标准和实验方法。如美国外墙外保温及饰面系统国家标准《American National Standard for Exterior Insulation and Finish Systems(ANSI/EIMA99A-2001)》、经不断修改完善的欧洲几十年墙体外保温技术结晶《Guideline for European Technical Approval of Composite Systems with Rendering(ETAG004)》。澳大利亚建筑保温材料标准《Materials for the thermal insulation of buildings-General criteria and technical provisions(AS4859.1-2006)》等。

目前，在欧洲国家广泛应用的外墙外保温技术仍然是外贴保温板薄抹灰技术，主要采用两种保温材料：阻燃型的 EPS 板及不燃型的岩棉板，通常以涂料为外饰面层。在瑞典和芬兰等西欧国家，80% 以上的岩棉制品用于建筑节能设计，其中大部分又被用做墙体及屋面保温。在进行外墙外保温时，对材料防火安全性的要求一直被视为该技术应用的首先考虑条件，标准中也包含了相应的防火测试和分级评价方法，采用大尺寸模型火试验评价整个外保温系统在实际使用状态下阻止火焰蔓延的能力。不同防火等级的外保温系统和保温材料的应用范围因各国政府规定差异而有所不同。如德国规定超过 22 米的建筑，严禁使用聚苯乙烯等可燃的保温材料，采用聚苯板保温材料的系统只能用在不超过 22 米的建筑工程中。在英国，18 米以上建筑必须采用不燃或难燃性材料。而在美国，至今有超过 20 个州禁止使用 EPS(聚苯乙烯泡沫)保温材料，纽约州规定，若聚苯板薄抹灰保温系统耐火极限小于两小时，在高于 22.86 米的住宅建筑中不得使用。外墙外保温技术已有 70 年的发展历史，但后 50 年的研究、应用与发展更为快速，外墙保温技术也不断走向成熟和完善。

10.1.2 国内保温隔热技术发展现状

总体来说，我国的外墙保温技术的发展大致经历了三个阶段：

第一个阶段：二十世纪八十年代中期到九十年代中期，我国外墙保温技术开始起步并处于摸索阶段，此时以外墙内保温为主。

我国的建筑节能起步比较晚，因此外墙外保温技术的应用和发展也比欧美等国家要晚许多。墙体保温技术和产品的推广起步于上个世纪的 80 年代中期，当时主推的有珍珠岩、复合硅酸盐、海泡石和与有机硅复合的外墙保温砂浆等产品。同期，国外的外保温企业进入国内进行推广，主要包括粘贴聚苯乙烯泡沫板(EPS)外抹加强玻纤网格布聚合物水泥砂浆的保温体系。

从 20 世纪 80 年代后期到 90 年代初，市场上出现了多种外墙保温技术，比如仿专威特的 EPS 贴板法系统，现浇混凝土复合有网、无网 EPS 板外保温系统及一些预制板外保温系统等。因其生产和施工比较简单，工程造价比较低，能满足当时节能率的需要，而成为外墙保温的主要形式，主要应用于我国北方采暖地区。此外，膨胀珍珠岩、复合硅酸盐保温砂浆等产品，也占有一定的市场。经过实践，外墙内保温技术在北方寒冷、严寒地区的缺陷日益显露，生产和施工质量难以控制，致使工程出现的问题较多，如室内外温差过大易形成冷凝结露，内墙发霉等问题，因而外墙内保温技术逐渐被市场所淘汰。

第二个阶段：二十世纪九十年代中期至后期，外墙保温市场发展迅速，主要采用夹层保温技术将保温材料做在外墙的内部或双层外墙之间。

1995 年，我国发布实施 50%建筑节能设计标准。1996 年召开的全国第一次建筑节能工作会议，总结了前一阶段的工作经验，提出了努力的方向，把推广外墙外保温技术作为工作的重点。1998 年 1 月 1 日，我国颁布实施了《中华人民共和国节约能源法》，明确提出：“节能是国家发展经济的一项长远战略方针”。规定了建筑设计和建造应该采用节能型的建筑结构和材料，提高保温隔热性能、降低能耗。节能法的实施，对外墙外保温技术的发展起到了重要的推动作用。同时，专业协会的成立以及相关著作的出版，为规范外墙外保温市场提供了理论指导。自此，我国加大了外墙外保温技术的研究和应用力度，自主开发了多种外墙外保温系统，包括：粘贴 EPS 板薄抹灰外墙外保温系统，胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统、现浇混凝土复合有网/无网 EPS 板外墙外保温系统，EPS 钢丝网架板后锚固外墙外保温系统等，适应了建筑节能 50%对外墙保温的要求。

第三个阶段：从二十世纪九十年代后期开始，外墙外保温技术得到了广泛应用，份额越来越大，外墙保温市场也越来越规范。

21 世纪初，我国又自主开发了一些新的外墙外保温系统，包括：喷涂硬泡聚氨酯外墙外保温系统、胶粉聚苯颗粒贴砌聚苯板外墙外保温系统等。外墙保温相关的技术标准和图集也得到了不断的完善和充实，推动了外墙外保温技术和产业的发展。2005 年，行业标准《外墙外保温工程技术规程》施行，标志着我国外墙外保温市场进入了一个新的快速发展阶段。

2008 年 4 月 1 日，新修订通过的《中华人民共和国节约能源法》颁布实施，“节约资源是我国的基本国策。国家实施节约与开发并举、把节约放在首位的能源发展战略”，新节能法进一步明确了节能执法主体，强化了节能法律责任。国务院制定的《民用建筑节能条例》也于 2008 年 10 月 1 日施行，该条例要求在保证民用建筑使用功能和室内热环境质量的前提下，降低其使用过程中能源消耗。

2009 年哥本哈根世界气候大会上，中国政府作出承诺：到 2020 年单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45%，作为一个负责任的大国，从承诺的那一刻起，解决节能减排与经济持续增长协调问题将一直是我们要解决的重要课题。

近十年来，我国根据国情的需要，在学习和引进国外先进技术的基础上，又研究发展了粘贴保温板薄抹灰外墙外保温系统、保温装饰板外墙外保温系统、岩棉板外墙外保温系统、胶粉聚苯颗粒贴砌增强竖丝岩棉板外墙外保温系统、无机保温砂浆外墙外保温系统、真空绝热板外墙外保温系统等，初步形成了一套完整的外墙外保温技术体系，适应了各地建筑节能设计标准对外墙保温的需要。

行业发展趋势

未来外墙外保温技术会有以下几方面的发展：一是新型复合墙体的研究应用，开发具有防火、保温隔热、隔音、装饰为一体的外墙外保温体系；二是无机防火保温材料的发展

，提高保温材料的防火安全性；三是从全生命周期角度考虑保温体系的经济成本，实现更高效的节能降耗和成本之间的和谐统一；四是外墙外保温技术创新理念与机制的构建，建立健全外墙外保温技术标准体系。

10.2 建筑外墙保温技术现状

10.2.1 外墙保温类型

目前市场上应用最多的几种外墙保温形式主要有：外墙外保温、外墙内保温、外墙夹芯保温和墙体自保温。各种保温系统有其各自的适用性和技术优势。

(1) 外墙外保温

外墙外保温是在墙体结构外侧，在粘结材料的作用下固定保温材料，并在保温材料的外侧用玻璃纤维网加强并涂刷粘结浆料，从而起到保温隔热的作用。其主要是靠保温材料的保温隔热性能来达到最大限度的阻抗热量传递的效果。由于外墙外保温技术能够避免墙体中的结构性热桥、便于既有建筑节能改造、保护主体结构等优点，目前已经成为国内主导的墙体保温形式，在多省市得到了大力推广。

(2) 外墙内保温

外墙内保温是将保温层做在墙体结构内部(高温一侧)。外墙内保温在我国应用时间较长，这种做法施工较为简单，不受气候变化影响，造价也较低，但是采用这种做法需对热桥部位做保温处理，保温材料易透蒸汽，当室内外温差较大时，墙体内部可能产生凝结水。从绿色节能观点来看，内保温形式已经不适应新的节能构造需求。

(3) 外墙夹芯保温

外墙夹芯保温是在外墙的内叶墙和外叶墙之间填充具有保温隔热性能的材料，保温材料通常选用聚苯板，有利于发挥墙体本身对外界环境的防护作用。夹芯保温形式绝热性能优于内保温，但是因为也存在热桥，而且材料两侧墙体存在很大的温度差，会导致较大的变形差，引发墙体裂缝或雨水渗漏，因此其应用范围受到很大约束。

(4) 墙体自保温

墙体自保温技术是指使用的墙体材料本身具有保温隔热功能，无需再进行墙体保温施工，这样的话保温系统基本能够达到与建筑物同寿命，同其他形式保温系统相比耐久性好。但是这种技术存在的主要不足就是在建筑物结构方面有些问题难以处理。比如，使用剪力墙时，自保温技术无法应用。并且，在梁、柱等接缝处常需要增加辅助保温措施等。

10.2.2 外墙外保温技术优势分析

同其他几种外墙保温形式相比，外墙外保温技术具有以下几方面的主要优势：

(1) 适用范围广

外保温技术适用于工业与民用建筑，既可用于新建建筑，更适用于既有建筑的节能改造。对既有建筑的节能改造是十分紧迫的事情，采用外保温方式既不会减小房屋的使用面积，又不会影响住户的日常活动。

(2) 避免产生热桥

在建筑物外墙和屋面等围护结构中的钢筋、圈梁、柱等部位，由于其热阻小，热量易于通过，热损失大，因此将其形象的称为“热桥”。在采用相同保温材料的情况下，外保温技术可以减小热桥的影响，获得更好的保温隔热效果。另外，在寒冷的冬季，由于墙体内外表面的温度差，容易导致热桥部位的结露，造成外墙内表面的潮湿、发霉等现场，而外保温形式的露点部位是在外墙外保温层的内表面，则不存在这种现象。

(3) 保护主体结构

由于保温材料在墙体结构的外部，缓冲了因温度变化导致结构变形产生的应力，就可以有效减少墙面的温度变形，同时又避免了雨、雪、冻融等不同环境条件对墙体的直接作用，对墙体结构起到了保护作用，延长了结构耐久性。

(4) 改善室内热环境

采用外保温形式时，室内能储存更多的热量，当受到不稳定的热作用下，有利于保持室内温度稳定，提高居住舒适度。因此，无论从节能效果还是实际居住来说，外墙外保温技术都是当前最佳的墙体保温形式。近年来，在我国不同气候地区的新建和改造建筑中外保温技术都得到了广泛应用，取得了很好的节能效果和社会效益。

10.2.3 常用外保温材料

保温材料的原理主要是采用固体材料通过特殊的结构来限制空气的对流性能和透红外线性能。这就决定了保温材料通常具有质轻、疏松、多孔、导热系数小等特点。建筑业中使用的保温材料品种繁多，按照建筑材料燃烧性能等级不同保温材料可分为：A级(不燃材料)、B1级(难燃材料)、B2(可燃材料)、B3级(易燃材料)；按照化学成分不同可以分为有机保温材料、无机保温材料和复合保温材料。

(1)无机保温材料：主要有岩棉、玻璃棉、膨胀珍珠岩、泡沫玻璃等。无机保温材料耐久性好，耐高温、抗老化、生态环保、不会燃烧，但是容量稍大，保温隔热效率较差。

(2)有机高分子保温材料：由于优异的保温隔热性能和质轻、加工性好等特点，有机保温材料在我国得到了广泛的应用，占据了保温材料市场的80%份额。主要有膨胀聚苯乙烯泡沫(EPS)、挤塑聚苯乙烯泡沫(XPS)、硬泡聚氨酯(PU)、酚醛泡沫(PF)等。但是有机保温材料的最大缺点就是易燃烧、安全性差，在诸多外墙火灾案例中都是采用的有机类保温材料。

(3)复合保温材料：是指以有机或无机材料为原料，通过化学、复合、发泡等技术手段生产出的保温材料。主要有胶粉聚苯颗粒保温浆料、无机保温砂浆、复合硅酸盐等。复合材料的保温隔热效果较好且防火性好、变形系数小，但是生产工艺复杂，生产成本较高。

要合理选择保温材料需综合考虑以下几个方面的因素：1)选材的性能指标。保温材料的主要性能指标有：导热系数、容重、最高使用温度、抗压强度、尺寸稳定性、最高燃烧等级等(表2-1)选材的经济性。在满足性能指标的要求下，要综合考虑各方面成本，做到技术可靠，经济合理。3)尽量就地取材，这样不但可以充分利用资源、降低成本，还可以真正起到节能降耗的作用。

表 2-1 保温材料的基本性能比较

项目	单位	模塑聚苯板	挤塑聚苯板	聚氨酯复合板	酚醛板	岩棉板	胶粉聚苯颗粒保温浆料
表观密度	kg/m ³	≥18	22~35	≥32	≥45	≥140	250~350
	倍数	1	1.94	1.78	2.5	7.78	19.4
导热系数	W/(m·K)	0.039	0.03	0.024	0.033	0.04	0.06
	热阻倍数	1	1.3	1.625	1.18	0.975	0.65
垂直于板面抗拉强度	MPa	≥0.10	≥0.20	≥0.10	≥0.08	≥0.0075	—
	倍数	1	2	1	0.8	0.075	—
压缩强度	kPa	≥100	≥200	≥150	≥100	≥40	≥300
	倍数	1	2	1.5	1	0.4	3
弯曲变形	mm	≥20	≥20	≥6.5	≥4.0	—	—
	倍数	1	1	0.325	0.2	—	—
尺寸稳定性 (70℃，2d)	%	≤0.3	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤0.3
	倍数	1	3.33	3.33	3.33	3.33	1
线膨胀系数	mm/(m·K)	0.06	0.07	0.09	0.08	—	—
	倍数	1	1.17	1.5	1.33	—	—
蓄热系数	W/(m ² ·K)	0.36	0.54	0.27	0.36	0.75	0.95
	倍数	1	1.5	0.75	1	2.1	2.6
吸水率	%	≤3	≤1.5	≤3	≤7.5	—	—
	倍数	1	0.5	1	2.5	—	—
水蒸气渗透系数	ng/(Pa·m·s)	4.5	3.5	6.5	8.5	10	20
	倍数	1	0.78	1.44	1.9	2.2	4.5
弹性模量	MPa	9.1	20	26	16.4	—	100
	倍数	1	2.2	2.87	1.8	—	11

泊松比	—	0.1	0.28	0.42	0.24	—	—
燃烧性能	—	不低于C(B) ₁ 级		A		A	

注：倍数为与模塑板指标比较。

10.2.4 常见外墙外保温系统构造

外墙外保温系统是以基层墙体为支撑，保温材料直接附着在基层墙体上，可以采用粘贴、喷涂、浇注和机械锚固等施工方法，外部装饰材料可以是涂料、面砖、石材、金属板材等，或是带龙骨的幕墙保温系统。一个完整的外墙外保温体系应该由基层墙体、保温层、外保温专用粘结剂、耐碱玻纤网格布防护层、饰面层等几部分构成。

旧版的《外墙外保温技术规程》是外墙外保温技术的行业标准，其中推荐了五种外墙外保温系统：EPS 板薄抹灰系统、胶粉 EPS 颗粒保温浆料系统、EPS 板现浇混凝土系统、EPS 钢丝网架板现浇混凝土系统和机械固定 EPS 钢丝网架板系统。在技术规程修订汇总稿中，又增加了现场喷涂硬泡聚氨酯系统。

另外，市场上还有一些不常用的保温系统，如岩棉板、酚醛泡沫外墙外保温系统等。随着材料性能的稳定和实际应用的增加，外墙外保温技术系统会日益优化和完善。

(1) 粘贴保温板薄抹灰系统：根据保温材料不同，该系统粘贴保温层材料可以为：EPS 板、XPS 板、PU 板。该系统由基层墙体、粘结层、保温层、抹面层、玻璃纤维网防护层和饰面层组成(见图 2-1)。保温板用胶粘剂固定在基层墙体之上(必要时可用锚栓辅助固定)，在保温板表面涂刷抹面胶浆，压入耐碱玻纤网格布形成加强保护层，保证系统的机械强度和耐久性。表面是腻子与涂料的装饰面层。目前这种方式是国内外使用最普遍的外保温系统，集保温和装饰功能于一体。成本较低，施工工艺简单，但是防火安全性差，容易出现空鼓、裂缝等问题。

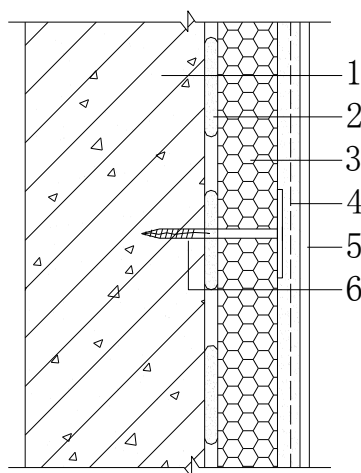


图 2-1 粘贴保温板系统

1-基层墙体；2-胶粘剂；3-保温板
4-抹面胶浆复合玻纤网；5-饰面层；6-锚栓

(2) 保温浆料复合保温板系统：这里的保温浆料主要是指胶粉聚苯颗粒，可以由其单独构成外保温系统，也可以结合粘砌保温板构成外保温系统。胶粉 EPS 颗粒保温浆料系统由基层墙体、界面层、保温浆料保温层、抹面层和饰面层组成(见图 2-2)。

保温浆料由矿物胶凝材料和 EPS 颗粒组成。系统阻燃性较好，性价比高，但是保温性能一般，厚度不易控制。胶粉 EPS 颗粒浆料粘砌 EPS 板系统，俗称“三明治”系统，在 EPS 板内粘贴层外找平层和板缝填充层均为粘结保温浆料 I81，每块 EPS 板都被包在保温浆料中形成防火分仓，具有较好的防火性能(见图 2.4)。

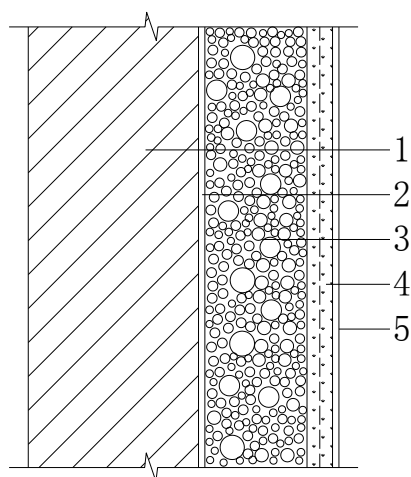


图 2-2 保温浆料系统

1-基层墙体；2-界面砂浆；3-保温浆料；
4-抹面胶浆复合玻纤网；5-饰面层

(3)EPS 板现浇混凝土系统：系统以现浇混凝土外墙为基层，EPS 板为保温层，板内表面沿水平方向开有矩形齿槽，内外表面满喷界面砂浆(见图 2-3)。EPS 板置于模板内，安装锚栓辅助固定。浇筑混凝土后，墙体与 EPS 板结合为一体。由于墙体与保温板一次浇筑成型，施工速度快，成本低，但是存在 EPS 板与墙体结合力不够，平整度和垂直度较难控制的问题。

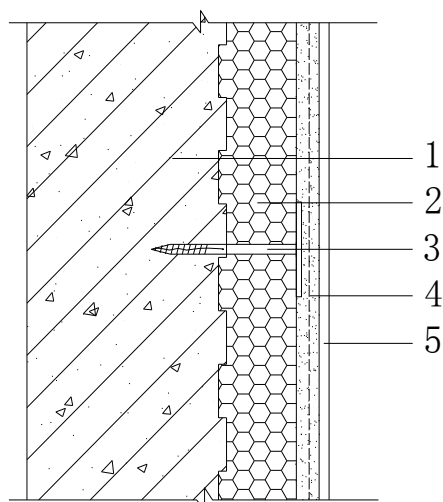


图 2-3 无网现浇系统

1-现浇混凝土外墙；2-EPS 板；3-辅助固定件；
4-抹面胶浆复合玻纤网；5-饰面层

(4)EPS 钢丝网架板现浇混凝土系统：

该系统以现浇混凝土为基层，采用单面 EPS 钢丝网架板与混凝土现浇一次成型，Φ6 钢筋辅助固定的方式(见图 2-4)。该系统施工速度快，EPS 板与墙体粘结较牢固，不过易形成热桥，降低墙体保温效果且成本较局。

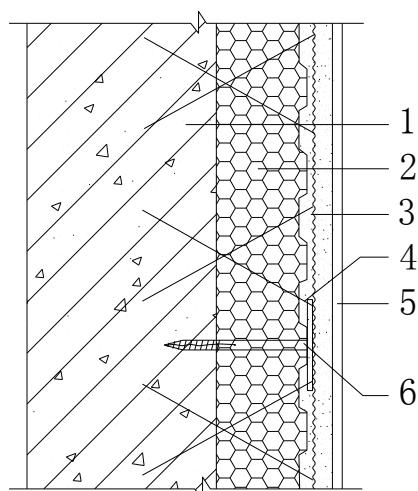


图 2-4 有网现浇系统

1-现浇混凝土外墙；2-EPS 钢丝网架板；3-掺外加剂的水泥砂浆抹面层；
4-钢丝网架；5-饰面层；6-辅助固定件

(5)现场喷涂硬泡聚氨酯系统：

该系统有两种构造做法，一是喷涂聚氨酯后直接做抹面层，另一种是做抹面层之前，用胶粉 EPS 颗粒保温浆料做找平层(见图 2-5)。该系统无空腔，抗风压能力强，保温隔热性能好。主要缺点是泡沫平整度较难控制，且易造成环境污染。

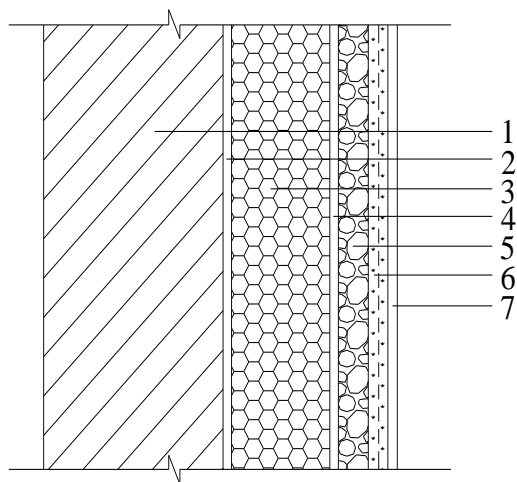


图 2-5 PUR 喷涂系统

1-基层墙体；2-界面层；3-喷涂 PUR；4-界面砂浆；
5-找平层；6-抹面胶浆复合玻纤网；7-饰面层

(6) 胶粉 EPS 颗粒浆料贴砌 EPS 板外保温系统

胶粉 EPS 颗粒浆料贴砌 EPS 板外保温系统（以下简称贴砌 EPS 板系统）由界面砂浆层、胶粉 EPS 颗粒贴砌浆料层、EPS 板保温层、胶粉 EPS 颗粒贴砌浆料层、抹面层和饰面层构成。抹面层中应满铺玻纤网，饰面层可为涂料或饰面砂浆（图 2-6）。

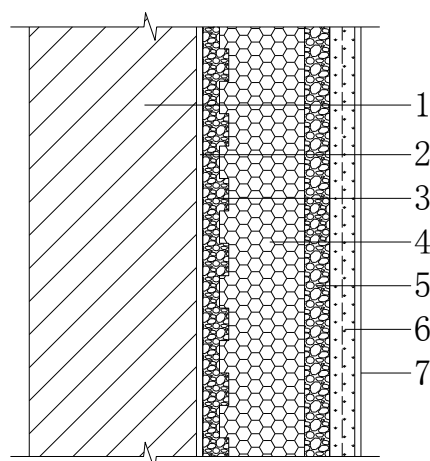


图 2-6 贴砌 EPS 板系统

1-基层墙体；2-界面砂浆；3-胶粉 EPS 颗粒贴砌浆料；4-EPS 板；
5-胶粉 EPS 颗粒贴砌浆料；6-抹面胶浆复合玻纤网；7-饰面层

(7)保温装饰板系统：

该系统也有两种构造做法。一种是采用以粘为主、粘钉结合的固定方式，另一种是用龙骨固定。该系统的关键是外观平整度和防水问题，因此需在基层墙体上做防水找平层。保温装饰板一般使用连续法工艺生产的夹芯板，由饰面层、衬板、保温层和底衬组成。因为采用了工厂生产的成品，施工效率高，质量容易控制，但是成本较高。

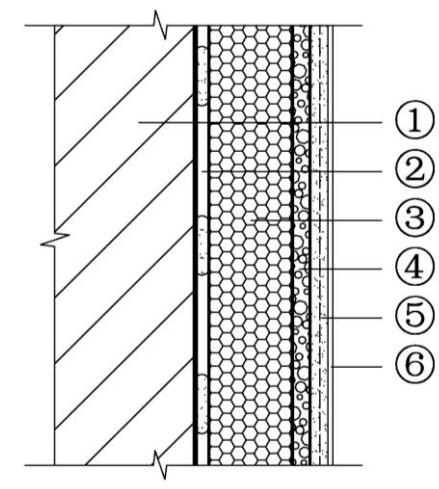


图 2-7 保温装饰板系统

①基层墙体；②保温板胶粘剂；③保温板；④贴砌浆料；⑤-抗裂砂浆复合玻纤网+弹性底涂
⑥柔性耐水腻子+涂料；

11 我国外墙保温的政策与标准

11.1 国家的政策

2011 年 3 月，公安部消防局制定实施了被业内称为“最严 65 号文”《关于进一步明确民用建筑外保温材料消防监督管理有关要求的通知》，该规定从 2011 年 3 月 15 日起，“民用建筑外保温材料采用燃烧性能为 A 级的材料”。此项规定在一定程度上提高了外墙保温材料的防火门槛。

国务院于 2011 年 12 月 30 日下发《国务院关于加强和改进消防工作的意见》(国发〔2011〕46 号)，按照相关规定，对于新建、改建、扩建的工程，其外保温材料一律不得使用易燃材料，对可燃材料的使用进行了严格限制。

2012 年 12 月 3 日，公安部消防局下发《关于民用建筑外保温材料消防监督管理有关事项的通知》(0350 号文)，决定取消执行 65 号文。但公告同时要求继续严格执行 2011 年 12 月 30 日国务院下发的《国务院关于加强和改进消防工作的意见》和 2012 年 7 月 17 日新颁布的《建设工程消防监督管理规定》。

住房城乡建设部于 2012 年 11 月 1 日发布公告，批准实施 JGJ289-2012《建筑外墙外保温防火隔离带技术规程》，并于 2013 年 3 月 1 日正式实施，在《建筑外墙外保温防火隔离带技术规程》中明确规定：建筑外墙外保温防火隔离带保温材料的燃烧性能等级应为 A 级，外墙保温材料的防火等级不低于 B2 级。

2012 年年底国家标准化管理委员会发布的强制性国家标准 GB8624-2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》于 2013 年 10 月 1 日起实施，同时发布的还有推荐性国家标准 GB/T29416-2012《建筑外墙外保温系统的防火性能试验方法》。要求阻燃性能低的保温板材将难以获得 B1 级评定，地方政府仅允许使用不低于 B2 级材料是大趋势。

政策的天平在墙体保温材料防火与节能之间，正在移向前者。作为节能保温市场中的新兴产业，外墙保温材料行业的发展无疑受到政策的直接影响。无机保温材料和有机保温材料都有其局限性，在今后一定时期内将外墙保温材料的燃烧性能等级限定为“不得低于 B2 级”是符合我国国情的科学定位。

11.2 建筑节能设计标准

我国从 20 世纪 80 年代已经着手开展了建筑节能工作，并制定了一批标准。1986 年颁布实施《民用建筑热工设计规程》(JGJ24—86)和《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ26—86)，节能率为 30%；1987 年颁布实施《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ19—87)，1993 年颁布实施《民用建筑热工设计规范》(GB50176—1993)。这些标准的颁布实施，对于节约能源、改善环境、提高经济和社会效益，起到了重要作用。

1995 年，我国颁布实施《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ26—95)，节能率提高到 50%左右；2010 年，我国发布了《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ26—2010)，将我国北方地区的居住建筑节能提高到新的水平，节能率在 65%左右。2001 年，我国颁布实施了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ134—2001)，2003 年颁布实施了《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ75—2003)，将我国的建筑节能事业从北方扩展到南方，要求南方地区的节能率也达到 50%左右。2010 年以来，南方地区的节能设计标准也进行了修订，完善了相应内容，相继发布了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ134—2010)和《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ75—2012)。2005 年，我国颁布实施了《公共建筑节能设计标准》(GB50189—2005)，要求在保证相同的室内环境参数条件下，与未采取节能措施前相比，全年采暖、通风、空气调节和照明的总能耗应减少 50%，目前该标准的修订版即将发布。部分省、直辖市、自治区为了更好地实施这些节能设计标准还制订了本地区的标准，北京市 2012 年发布了《居住建筑节能设计标准》(DB11/891—2012)，将居住建筑的节能率率先提高到了 75%。

11.3 建筑节能工程建设标准

为了配合建筑节能设计标准的有效实施，我国还编制发布了相应的构造图集，主要有：《外墙外保温建筑构造》(02J121-1、99J121-2、06J121-3、10J121)、《外墙内保温建筑

构造》(03J122、11J122)、《墙体建筑节能构造》(06J123)、《既有建筑节能改造(一)》(06J908-7)、《公共建筑节能构造(严寒和寒冷地区)》(06J908-1)、《公共建筑节能构造(夏热冬冷和夏热冬暖地区)》(06J908-2)、《屋面节能建筑构造》(06J204)、《建筑围护结构节能工程做法及数据》(09J908-3)、《房屋建筑工程施工工法图示(一)——外墙外保温系统施工工法》(11CJ26/11CG13-1)等。各省、直辖市、自治区也编制了相应的建筑节能构造图集,如北京市的《外墙外保温》(08BJ2-9)、《公共建筑节能构造》(88J2-10)、《A级不燃材料外墙外保温》(12BJ2-11)、《建筑外保温(节能75%)》(13BJ2-12)等。我国还发布了相应的检验标准和施工质量验收标准,主要有:《采暖居住建筑节能检验标准》(JGJ132—2001)、《居住建筑节能检测标准》(JGJ/T132—2009);《公共建筑节能检测标准》(JGJ/T177—2009);《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB50411—2007)等。部分省市也编制了建筑节能施工质量验收的地方标准,如北京市《居住建筑节能保温工程施工质量验收规程》(DBJ01—97—2005)、《公共建筑节能施工质量验收规程》(DB11510—2007)、《民用建筑节能现场检验标准》(DB11/T555—2008)等。

2003年以前,我国外保温工程出现过一些质量问题,主要是:保护层开裂和瓷砖空鼓脱落,雨水通过裂缝渗透到外墙内表面,也有个别工程出现外保温被大风刮掉等严重问题。为了规范外墙外保温工程技术要求,保证工程质量,做到技术先进、安全可靠、经济合理,由建设部科技发展促进中心主编,众多行业内科研单位和企业共同参与,编制了《外墙外保温工程技术规程》(JGJ144—2004),该规程编制的目的,一是借鉴先进国家的成熟经验指导我国外保温技术的研究和应用;二是控制外保温工程质量,促进外保温行业健康发展。该标准收入了5种外保温系统,分别是EPS板薄抹灰外墙外保温系统、胶粉EPS颗粒保温浆料外墙外保温系统、EPS板现浇混凝土外墙外保温系统、EPS钢丝网架板现浇混凝土外墙外保温系统、机械固定EPS钢丝网架板外墙外保温系统。该标准不仅规定了外保温工程的基本要求,还规定了外保温系统及其组成材料的性能要求和相应的试验方法、设计及施工要点、以及上述外墙外保温系统构造和技术要求、工程验收等内容。该标准是外保温行业中最重要的一本工程建设标准,对于规范各种外保温系统甚至新开发的外保温系统都具有指导性和可操作性,对于外保温行业的发展则具有保驾护航的功效。目前该标准已经启动了修订程序,将增加一些新的外墙外保温系统,并重点关注外保温防火问题。随着外墙保温技术的发展,又相继编制发布了一些技术规范或技术规程,如:《硬泡聚氨酯保温防水工程技术规范》(GB50404—2007)、《无机轻集料砂浆保温系统技术规程》(JGJ253—2011)、《建筑外墙外保温防火隔离带技术规程》(JGJ289—2012)、《外墙内保温工程技术规程》(JGJ/T261—2011)、《既有居住建筑节能改造技术规程》(JGJ/T129—2012)等。

11.4 建筑节能产品标准

为了推动建筑节能事业的发展,特别是推动外墙外保温事业的健康发展,国家针对不同的外墙外保温系统编制了相应的系统产品标准,还编制了一些配套产品标准及系统试验方法标准,标准体系日趋完善,见表3-1。

表 3-1 外墙保温系统产品、配套产品及系统试验方法相关标准

类别	标准号	标准名称	备注
系统产品标准	GB/T29906—2013	模塑聚苯板薄抹灰外墙外保温系统材料	为JG149—2003升级版
	GB/T30595—2014	挤塑聚苯板(XPS)薄抹灰外墙外保温系统材料	
	GB/T30593—2014	外墙内保温复合板系统	
	JG/T158—2013	胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统材料	为JG158—2004修订版
	JG/T228—2007	现浇混凝土复合膨胀聚苯板外墙外保温技术要求	修订稿已经通过审查,即将发布
	JG/T287—2013	保温装饰板外墙外保温系统材料	
	JG/T420—2013	硬泡聚氨酯板薄抹灰外墙外保温系统材料	

单一产品标准	JG/T469—2015	泡沫玻璃外墙外保温系统材料技术要求
	GB26538-2011	烧结保温砖和保温砌块
	GB/T29060 — 2012	复合保温砖和复合保温砌块
	GB/T10801.1 — 2002	绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料
	GB/T10801.2 — 2002	绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料 (XPS)
	GB26540—2011	外墙外保温系统用钢丝网架模塑聚苯乙烯板
	GB/T19686 — 2005	建筑用岩棉、矿渣棉绝热制品
	GB/T11835 — 2007	绝热用岩棉、矿渣棉及其制品
	GB/T25975 — 2010	建筑外墙外保温用岩棉制品
	GB/T20219 — 2006	喷涂硬质聚氨酯泡沫塑料
	GB/T21558 — 2008	建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料
	GB/T20473 — 2006	建筑保温砂浆
	GB/T26000 — 2010	膨胀玻化微珠保温隔热砂浆
	GB/T20974 — 2014	绝热用硬质酚醛泡沫制品(PF)
	JG/T407—2013	自保温混凝土复合砌块
	JG/T314—2012	聚氨酯硬泡复合保温板
	JG/T360—2012	金属装饰保温板
	JG/T432—2014	建筑结构保温复合板
	JG/T435—2014	无机轻集料防火保温板通用技术要求
	JG/T438—2014	建筑用真空绝热板
	JG/T366—2012	外墙保温用锚栓
	JG/T229—2007	外墙外保温柔性耐水腻子
	JG/T206—2007	外墙外保温用环保型硅丙乳液复层涂料
	JC/T992—2006	墙体保温用膨胀聚苯乙烯板胶粘剂
	JC/T993—2006	外墙外保温用膨胀聚苯乙烯板抹面胶浆
	JC/T2084—2011	挤塑聚苯板薄抹灰外墙外保温系统用砂浆
系统试验方法标准	GB/T29416 — 2012	建筑外墙外保温系统的防火性能试验方法
	JG/T429—2014	外墙外保温系统耐候性试验方法

12 外墙内保温工程绿色施工技术

近几年，随着社会经济的迅速发展，我国建筑行业也在快速的发展与进步，相关的施工技术与施工上艺也得到了进一步的优化与改善，外墙内保温技术正是在这一发展过程中所累积的产物，该项施工技术能够有效的提高了建筑工程的施工效率与质量，极大的增强了建筑外墙结构的内保温能力，为人们创造了更加舒适的居住环境。

12.1 外墙内保温的技术现状

在实际的建筑工程施工中，施工单位为了提高建筑物整体的保温性能，使其达到理想的节能效果，通常都会采用外墙内保温的施工技术，其主要的施工原理是通过在建筑外墙结构表面而设置保温层，并采用保温性较强的保温材料，以此来保证建筑工程中外墙结构施工的有效开展可以说，这种施工技术已经拥有着较为长远的应用历史，在些早期的工程项目施工中，就已经得到了十分广泛的应用，不仅充分满足了国家规定的质量要求，还对建筑物的能耗进行了严格的控制，是我国当前建筑领域中较为常见的施工上艺，具有非常开阔的发展前景。

虽然外墙内保温技术受到了各大施工企业的青睐与喜爱，并被应用各类小同的工程建设中但是，在建筑工程施工与使用阶段中，外墙内保温的质量问题越来越突出，至今都没有得到很好的解决，这小仅严重影响了建筑物结构的安全稳定性，还会导致建筑外墙结构产生较大的温度差，大大降低了建筑物的保温性能并且，由于地理环境的小同，人们在对建筑外墙内保温的需求力而也存在着较大的差异那么，这就需要设计人员在对其进行设计时，必须切实结合实际的施工情况日，制定出最终完善的施工力案，选择出合理的外墙内保温施工技术与保温材料，以此来保证建筑外墙工程的施工质量。

如今，施工单位在对建筑外墙内保温结构进行施工时，普遍存在着基础结构失稳的质量问题，再加之其在使用过程中，经常会受到温度变化的影响，产生一定的温差应力，这就会对墙体结构造成较大的损坏，严重影响了保温材料的使用质量此外，由于施工人员不规范的操作行为，也会导致建筑外墙结构出现各种小同程度的质量问题。

12.2 外墙内保温与外墙外保温的对比

日前，很多人都容易将外墙内保温和外墙外保温混为一谈，以至于没有办法区分两种保温结构，在今后的维护中，也可能会出现错误的力法本文论述至此，将外墙内保温与外墙外保温两种保温结构进行对比和区分，以供大家参考。

12.2.1 外墙内保温的基本情况

外墙内保温是在墙体结构内侧覆盖一层保温材料，是通过粘接剂固定的，目前的内保温多采用粉刷石膏作为粘接和抹面材料，进而通过使用聚苯板或聚苯颗粒等保温等保温材料来达到保温的效果，但是，外墙内保温同样存在着很多的缺点：

- (1)保温隔热效果差，外墙平均传热系数高；
- (2)热桥保温处理困难；
- (3)占用室内的使用面积；
- (4)对于室内装修爱好者而言，会导致空调、电话等固定悬挂物件设施不方便安装；
- (5)不利于既有建筑的节能改造；
- (6)保温层容易出现开裂；

12.2.2 外墙外保温技术现状

伴随着建筑节能技术的小断强化与进步，外墙外保温技术也得到了进一步的改善，逐渐成为当前建筑工程中重要的施工技术，更是种具有发展前景的保温型节能技术，其主要是通过建筑物主体墙外结构部分设置一层保护层，并利用保温材料来对建筑物外侧进行保护日前我国的外墙保温形式越来越多样化，聚苯颗粒材料外墙保温、聚苯板保温砂浆外墙保温形式是当今建筑工程中比较流行的外墙外保温力法。相关对比情况如表 4-1 所示。

表 4-1 外墙内保温、夹心保温和外墙外保温之间的特点比较

体系	外墙内保温	夹心保温	外墙外保温
优点	1、保温材料技术难度要求比外墙外保温低，材料本身强度要求低；2、保温材料复合于承重墙内侧，施工简便易行，技术简单；3、造价相对较低。	1、对于保温材料要求不太严格；2、外墙中间置入保温材料，在不受外界条件影响的情况下可充分发挥墙体自身起到的保温隔热作用。	1、大体上可以消除热桥现象；2、保护主体结构可以延长建筑寿命；3、使用范围广；4、有助于增强墙体气密性和防水性；5、提高室内环境保温质量，保持室温稳定；6、相对节约保温材料的用量；7、方便现有建筑物节能改造；8、明显改善墙体根部容易潮湿的情况；9、可使用房屋面积增加约 2%。
缺点	1、内保温板容易开裂；2、对保护建筑外墙维护结构不力；3、接缝以及周边部分气密性和防水性差；4、为防止冷凝现象出现在墙体上，需要置入隔汽层；5、在外墙内表面的热桥容易出现潮湿、结露以及滴水、发霉等现象，难以避免。	1、施工过程比较困难；2、空气对流容易在内部形成；3、抗震性能较差；4、墙体裂缝、外墙维护结构寿命缩短的现象由内外墙两侧不同的温度差导致；5、容易出现热桥。	1、需要先进技术的支撑以及高质量的施工团队；2、需要十分严格的保温材料体系；3、配套材料对体系的防水、透气、抗风压、抗震、抗裂等性能都有较高的要求；4、保温材料要求有较高的耐久性能和耐候性能。

12.3 外墙内保温技术的改进

外墙内保温应用比较广泛，而且内保温也有一定的好处，比如造价低、安装方便等。外墙内保温施工，是在外墙结构的内部加做保温层。内保温施工速度快，操作方便灵活，可以保证施工进度。内保温应用时间较长，技术成熟，施工技术及检验标准是比较完善的。

1. 优点

外墙内保温系统采用可靠的连接方式将保温层与基层牢固地连接在一起，再在表面做保护层及装饰层，通过保护层有效阻断冷(热)桥，减少了空气、风及湿气等的流入，稳定了建筑热环境，从而达到节能的作用。它的优点在于：

- (1) 选用性能优异的保温材料，传热系数低；
- (2) 取材方便。对饰面和保温材料的防水、耐候性等技术指标的要求不甚高，纸面石膏板、石膏抹面砂浆等均可满足使用要求；
- (3) 采用整体性保温设计，从结构上合理地消除了板缝间的冷(热)桥，升温降温都很快，保温效果良好；

(4)内保温材料被楼板所分隔，仅在一个层高范围内施工，不需搭设脚手架，受气候影响小，施工工艺方便快捷，施工质量容易把握，施工过程的质量检验及问题的容易发现，维修方便；

(5)相对于外保温，内保温系统造价也相对较低；

(6)添加了进口的性能优异的高分子聚合物和各种水泥外加剂，聚苯板粘结剂，抗冻融，适合于混凝土、砌块砖、多孔猫土砖等各种基层墙面的粘结，粘结强度高；

(7)外墙内保温系统所使用的聚苯板粘结剂和增强粉刷石膏均为微孔型结构，对水蒸汽有极好的渗透性，保证系统整体具有良好的呼吸性能，透气性能佳；

(8)优良的防火性能，外墙内保温系统中聚苯保温板为阻燃自熄型，其余材料均为无机材料，能最大程度的满足工程对防火性能的要求。

2. 缺点

在多年的实践中。外墙内保温也显露出一些缺陷，这项技术的缺点是：

(1)许多种类的内保温做法，由于材料、构造、施工等原因，饰面层易出现开裂；

(2)不便于用户二次装修和吊挂饰物；

(3)占用室内使用空间较大；

(4)由于圈梁、楼板、构造柱等会引起热桥，热损失相对较大。内保温会多占用使用面积，“热桥”问题不易解决，容易引起开裂，还会影响施工速度，影响居民的二次装修，且内墙悬挂和固定物件也容易破坏内保温结构。内保温在技术上的不合理性，决定了其必然要被外保温所替代。但是目前常用的两种保温技术在我国建筑节能技术发展中均处于起步阶段，在外墙外保温技术尚不成熟的情况下，外墙内保温应用仍然比较广泛。

12.4 外墙内保温体系

外墙内保温是我国建筑节能工作起步时期的惯用方法，它是在墙体内表面进行保温隔热处理，将保温材料覆盖在基层墙体内侧，同时放置饰面材料作为其保护层，最后通过粉刷成为其外表面。通过《外墙内保温建筑构造 037122》图集介绍，在居住建筑内保温体系中，主要有以下结构构造：保温浆料内保温系统；复合聚苯板内保温体系；玻璃棉内保温体系。内保温体系构造图见图 2-1 所示：

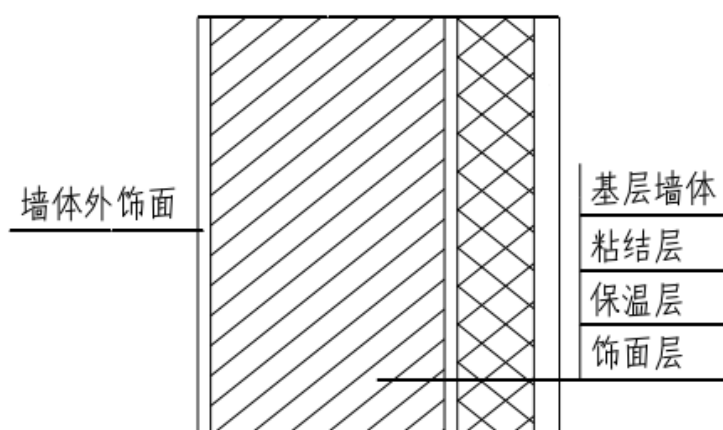


图 4-1 外墙内保温构造

该体系的主要优点是：

(1)施工比较容易。因为是在建筑室内作业，现场施工不受外界气候条件的影响，同时也没有必要做防护措施，技术难度也较小；

(2)结构处理简单，对保温材料无耐候要求，不考虑大气和雨水的腐蚀，面层也不因外界条件改变性能；

(3) 造价便宜。不需要很多现场施工复杂的工具；

(4) 保温材料热惰性小，且置于墙体内侧，因此室内温度升降较快。特别是在夏季的夜晚，室内温度可以很快降低，减少了由于墙体蓄热导致温度延迟的时间。

经过这些年的工程实践，这种保温体系的缺点也暴露出来：

(1) 不能有效阻断横梁、外墙与柱子在建筑中产生的热桥，故不可以彻底消除因为热桥造成的热量流失，削弱了墙体绝热性，保温性能不好；

(2) 结构容易出现结露、冷凝现象，继而引起墙体和保温材料的变形、开裂，影响房屋的美观和节能效果；

(3) 主墙体由于直接暴露在室外空气中，长期受到温度、湿度等环境因素的影响，容易造成内部结构及应力发生变化，导致墙体出现变形甚至裂缝、从而缩短建筑的使用寿命。

(4) 减少有效建筑使用面积，且给房子的使用造成不利影响。

外墙内保温体系本身存在的诸多问题，已经影响了其应用和推广，又随着我国节能技术的发展 and 相应节能标准的提高，内保温的做法也已经很难适应新的节能规范要求。因此，它只能是我国夏热冬冷地区一种过渡性的节能做法，在我国北方应该慢慢被取代，但当由于气候因素外保温无法施工，或者某些建筑需要维持原来外墙形貌时，也可以采用内保温体系。

12.5 外墙内保温的材料

聚合物无机保温砂浆是一种新型的保温材料，该种材料以其超高强水泥作为胶凝材料，憎水改性膨胀珍珠岩、玻化微珠、闭孔珍珠岩为保温骨料，粉煤灰、漂珠为辅助隔热材料，聚苯希单份短纤维为增强网格材料掺入多种聚合物外加剂，采用上工厂混合生产而成的干粉状建筑保温隔热材料。

聚合物无机保温砂浆主要的有点包括以下几个方面：

(1) 施工简单，且速度较快，便于操作。

(2) 相比于传统的保温材料，聚合物无机保温砂浆的燃烧性能级别高，耐老化能力强。

(3) 聚合物无机保温砂浆的新型操作将整体的保温层的厚度变薄，从而增加了内保温层的厚度提高了墙面的呼吸功能，有利于改善室内环境，提高舒适度。

(4) 由于在保温材料当中掺入了各种聚合物，从而在易燃性、防水性小足的问题上给予了解决的法。

(5) 聚合物无机保温砂浆是一种小易开裂的新型材料，如果在干燥的环境下，可以小使用罩而抗裂砂浆，涂料能够直接作用在其表面而聚合物无机保温砂浆的施工上艺较为简单，其主要上作都表现在细节当中，对于细部节点的做法以及质量要求的都相对较高。

12.6 外墙内保温工程的施工与安全

12.6.1 材料的选择

(1) 尽可能采用导热系数小的高效保温材料，以减少保温层的厚度，少占室内使用面积；

(2) 是保温系统的，尽可能采用不燃或难燃材料，如矿棉板(毡)、玻璃棉板以及保温砂浆等。防火性能应符合国家有关法规规定；

(3) 采用不对室内环境产生污染的材料，包括不含有放射性物质和其他室内污染物等；

(4) 保温层表面应有护面层，以提高面层的强度和硬度，但不得直接用硬质砂浆(水泥砂浆、混合砂浆)抹灰，以防开裂。

12.6.2 施工的要害

保温砂浆以其极低的导热性能，施工操作的简易方便，价格的低廉在建筑市场上得到广泛的应用。通过实践，我们认为在保温砂浆施工时应注意以下事项：

1. 外墙内侧保温砂浆粉刷的施工条件

(1)施工环境温度不小于 2℃，通风状况良好，空气湿度不大于 60%，不受强风沙的直接影响。

(2)外墙内侧面与门窗框交接和防水层应施工验收完毕，外墙施工孔洞、硅墙体对拉螺杆洞等应堵塞涂抹完成。

(3)水暖及装饰等工程需要的管卡、炉钩等预埋应完毕，电气安装工程的暗线盒也应预埋完毕，并应完成暗线管的穿线工作。

2.外墙内侧保温砂浆的施工要点

(1)砖面砌块类墙面要求表面坚实、平整、无灰尘和污渍，脚手架洞口应用砖和水泥砂浆填嵌密实]

(2)墙面及围护墙表面应做拉毛、喷浆处理，当保温层厚度 30mm，拉毛长度应为 3mm，当保温层厚度>30mm 时，拉毛长度为 8mm，

(3)贴灰饼按保温层厚度设计，用保温材料在墙面贴灰饼，数量、间距要均匀并以满足墙面平整度、垂直度为限度不得使用水泥；

(4)砂浆等非保温材料进行打点冲筋，以避免降低保温层的保温效果；

(5)保温材料应分层涂抹，以保证该层与基层墙面或上一层的粘合。

保温层抹完后，应由下往上找平，同时注意保温层表面不能太光滑，以便于护面层的粘合。

12.6.3 施工质量的要求

(1)施工厚度要求：外墙内侧面保温砂浆的厚度按设计要求确定，扩面层应采用保温专用护面材料，一般为 3mm-8mm。

(2)施工外观要求：保温层与基本墙面之间站结应牢固，不得有空鼓、起泡、裂缝等现象发生，保温墙面外观质量应达到表面洁净，不得有爆会、脱层等现象发生，保温墙阴阳应垂直方正。

13 外墙外保温工程绿色施工技术

13.1 般规定

1. 胶粉聚苯颗粒复合型系统的各种组成材料应成套供应。
2. 承担外墙外保温工程的施工企业应具备相应的资质。
3. 外墙外保温工程应按照审查合格的设计文件和经审查批准的施工方案施工，在施工过程中不得随意更改墙体节能设计，如确需变更时应有设计变更文件并经原施工图设计审查机构审查通过，并获得监理和建设单位的确认。设计变更不得降低建筑节能效果。
4. 外墙外保温工程的施工应编制专项施工方案，并进行技术交底，施工人员应经过培训并经考核合格。
5. 外墙外保温工程施工应符合国家和当地有关防火安全的规定。
6. 除采用聚苯板现浇混凝土系统外，外墙外保温工程应在基层质量验收合格后施工。
7. 保温层施工前，应进行基层检查和处理。基层应洁净、坚实、平整，并应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 或《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 的要求。
8. 应预先在现场采用与工程相同的材料和工艺做样板墙，经建设、设计、施工、监理各方面确认后，方可进行大面积施工。
9. 除采用现浇混凝土聚苯板系统外，外墙外保温工程施工前，外门窗洞口应通过验收，洞口尺寸、位置应符合设计要求和质量要求，门窗框或辅框应安装完毕。伸出墙面的消防梯、水落管、各种进户管线和空调器等的预埋件、联结件应安装完毕，并按外墙外保温系统厚度留出间隙。
10. 外墙外保温工程采用的材料在施工过程中应采取防潮、防水、防火等保护措施。各种材料应分类贮存，贮存期及条件应符合产品使用说明书的规定，应防雨、防暴晒、防火，且不宜露天存放，对在露天存放的材料，用苫布覆盖。聚苯板进场前应预先喷刷配套的 EPS 板界面剂或 XPS 板界面剂。
11. 现场配制的材料应按照产品使用说明书的要求配制，计量准确，配制好的材料应在规定时间内用完，严禁过期使用。
12. 各类作业机具、工具应齐备，并经检验合格、安全、可靠，各种测量工具应经过校核准确无误。主要机具和工具有强制式砂浆搅拌机、垂直运输机械、手推车、手提式搅拌器、电锤、喷斗、聚氨酯喷涂机、专用喷枪、浇注枪、料管、常用抹灰工具及抹灰的专用检测工具、经纬仪及放线工具、水桶、手锯、剪刀、滚刷、铁锹、手锤、钳子、壁纸刀、扫帚、电动吊篮或脚手架等。
13. 外墙外保温工程施工期间以及完工后 24h 内，基层及环境空气温度不应低于 5℃。夏季应避免阳光暴晒。在 5 级以上大风天气和雨天不得施工。
14. 外墙外保温工程完工后应做好成品保护。

13.2 保温浆料系统施工要点

13.2.1 保温浆料系统施工要点

1. 保温浆料系统的施工工序应符合图 5-1 的要求。

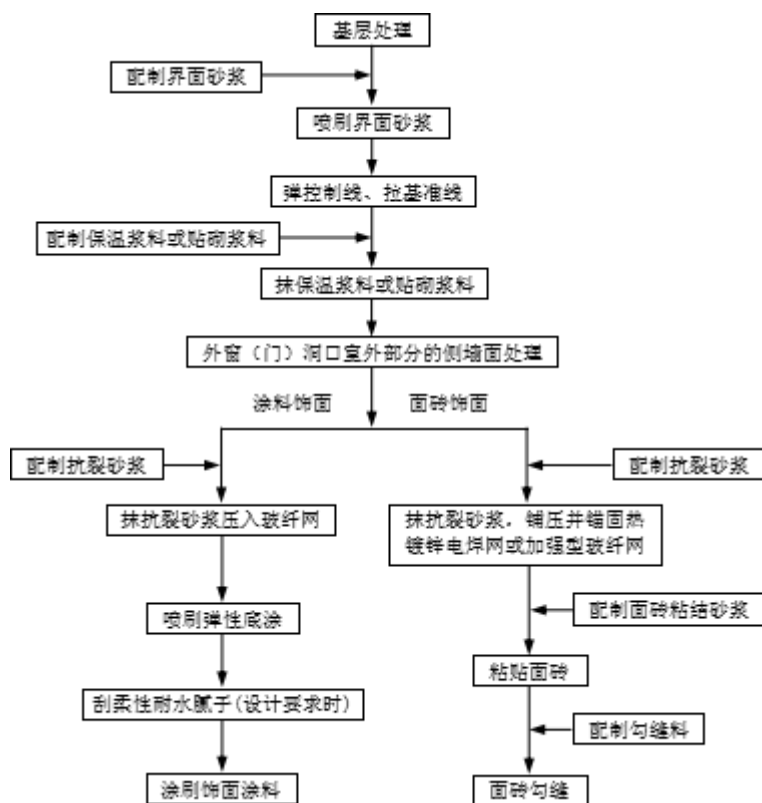


图 5-1 保温浆料系统施工工序

2. 基层处理应符合下列要求：

(1) 保温层施工前应基层处理，表面应平整、洁净、干燥，不得有浮尘、漏浆、油污、空鼓等质量问题，墙体外表面凸起物大于 10mm 时应剔除。穿墙孔及墙面缺损处应清理干净后用相应材料修补平整；墙面孔洞部位浇水湿润，将其补齐砌严。

(2) 既有建筑外墙表面空鼓、开裂部位应剔除。

3. 基层墙体表面应均匀满涂一薄层界面砂浆；吸水率比较大的砌体墙要先淋湿墙面，阴干后方可喷刷界面砂浆。

4. 弹控制线、拉基准线应符合下列要求：

(1) 根据建筑物立面设计和外墙外保温技术要求，在墙面弹出外门窗水平、垂直控制线。

(2) 在建筑外墙大角（阴角、阳角）及其它必要处挂垂直基准钢线，每个楼层适当位置挂水平线。

5. 抹保温浆料或贴砌浆料应符合下列要求：

(1) 沿厚度控制通线方向施工灰饼，间隔 1.5m 左右，灰饼厚度应根据保温层的厚度确定。灰饼应采用保温浆料或贴砌浆料，也可直接用 EPS 板块。

(2) 在界面砂浆基本干硬后方可抹保温浆料或贴砌浆料。

(3) 保温浆料或贴砌浆料按产品使用说明书的规定进行搅拌，搅拌质量可以通过测量湿表观密度并观察其可操作性、抗滑坠性、膏料状态等方法判断，搅拌好的保温浆料应在产品允许时间内用完。

(4) 保温浆料或贴砌浆料应分层抹灰，每层抹灰厚度宜为 20mm 左右，间隔时间应在 24h 以上。第一遍抹灰应压实，最后一遍抹灰厚度宜控制在 10mm 左右，抹至与灰饼平齐，并用大杠搓平，使其平整度达到验收标准要求。

(5) 现场检验保温层厚度应符合设计要求，不得有负偏差。

6. 外窗（门）洞口室外部分的侧墙面应用胶粘剂粘贴厚度不低于 30mm 的 XPS 板，外窗（门）框与 XPS 板之间预留 20mm 宽的缝隙用柔性止水砂浆填塞，并用 JS 防水涂料进行防水处理。

7. 当采用涂料饰面时，抗裂层和饰面层施工应符合下列要求：

- (1) 在找平施工完成 3~7d 且施工质量验收合格以后，即可抹抗裂砂浆压入玻纤网。
- (2) 抹抗裂砂浆前应根据设计要求做好滴水线。
- (3) 大面积铺贴玻纤网前，在门窗洞口四角沿 45°方向铺贴一层 300mm×200mm 玻纤网。
- (4) 玻纤网应自上而下沿外墙铺设，搭接宽度不宜小于 100mm；抹好抗裂砂浆后，立即铺设玻纤网，铺贴要平整，无褶皱，砂浆饱满度达到 100%，并用抹子将其压入抗裂砂浆内，以玻纤网均被抗裂砂浆覆裹为宜。
- (5) 首层墙面应铺贴双层玻纤网，第一层玻纤网应对接，对接点不得在阴阳角处且偏离阴阳角不低于 200mm。两层玻纤网之间抗裂砂浆应饱满，禁止干贴。
- (6) 抗裂砂浆施工完后，应检查平整度、垂直度及阴阳角方正，不符合要求的应用抗裂砂浆进行修补。严禁在抗裂砂浆面层上抹普通水泥砂浆腰线、窗口套线等。
- (7) 抗裂砂浆施工完初凝后即可涂刷弹性底涂，涂刷应均匀，不得有漏底现象。
- (8) 若需要刮涂柔性耐水腻子找平施工时，应先局部修复，再大面积刮涂，分多遍进行，每遍刮涂厚度控制在 0.5mm 左右。
- (9) 按《建筑涂饰工程施工及验收规程》JGJ/T 29 的规定涂刷饰面涂料。

8. 当采用面砖饰面时，抗裂层和饰面层施工应符合下列要求：

- (1) 在找平施工完成 3~7d 且施工质量验收合格以后，即可抹抗裂砂浆。
- (2) 根据墙面尺寸裁剪热镀锌电焊网。
- (3) 在墙面上按双向@500mm 梅花型分布打锚栓孔，窗洞等侧口部位热镀锌电焊网收口处的锚栓孔每延米不应少于 3 个，孔应深入结构墙体 40mm 以上，塞入锚栓套管。
- (4) 按从上而下、从左至右的顺序铺设热镀锌电焊网，搭接宽度不应少于 5 个网格，搭接层数不得大于 3 层，将锚固钉拧入或敲入锚栓套管内。
- (5) 热镀锌电焊网铺贴完毕经检查合格后抹抗裂砂浆，并将热镀锌电焊网包覆于抗裂砂浆之中，抗裂砂浆的总厚度宜控制在 8~10mm，抗裂砂浆面层应达到平整度和垂直度要求。
- (6) 门窗口角处也可用加强型玻纤网处理，施工时应用锚栓固定，使加强型玻纤网压住热镀锌电焊网。
- (7) 采用加强型玻纤网时，应先在墙面上抹一层抗裂砂浆压入加强型玻纤网，玻纤网搭接宽度不应小于 100mm，接着按双向@500mm 梅花型分布打入锚栓，然后再抹一层抗裂砂浆，抗裂砂浆的总厚度宜控制在 6~8mm。
- (8) 抗裂砂浆施工完一般应适当喷水养护，约 7d 后即可进行饰面砖粘贴工序。
- (9) 按《外墙饰面工程施工及验收规程》JGJ 126 的规定粘贴面砖。面砖粘结料要饱满，厚度宜控制在 3~5mm。
- (10) 面砖粘贴后应及时按《外墙饰面工程施工及验收规程》JGJ 126 的规定勾缝，缝深 2~3mm，缝勾完后应立即将缝边面砖清洗干净。

13.2.2 贴砌聚苯板系统施工要点

1. 贴砌聚苯板系统的施工工序应符合图 5-2 的要求。

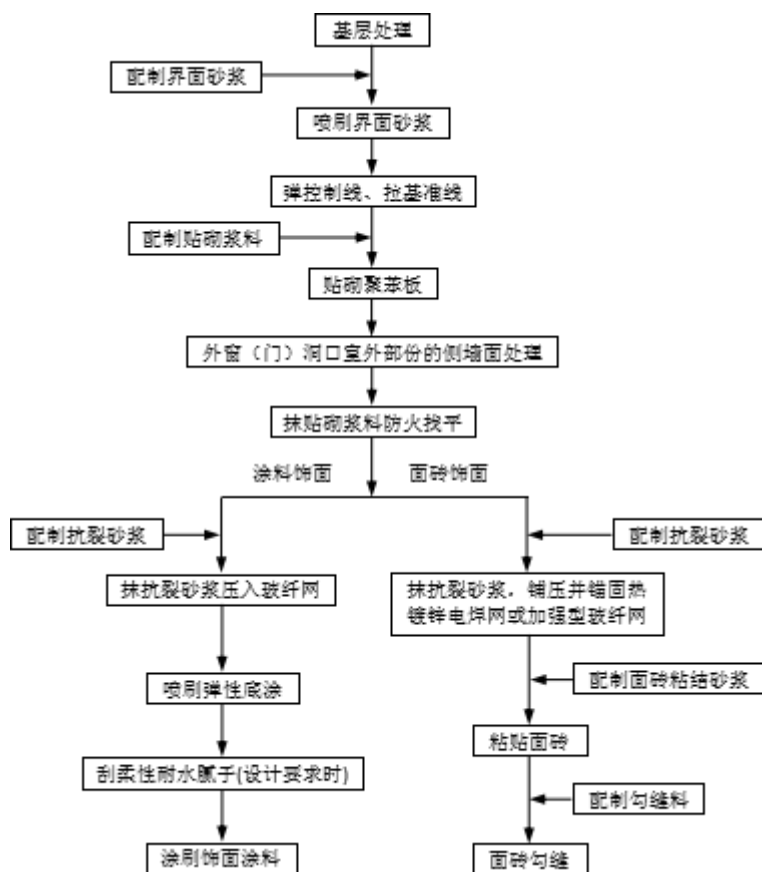


图 5-2 贴砌聚苯板系统施工工序

2. 基层处理应符合下列要求：

(1) 保温层施工前应基层处理，表面应平整、洁净、干燥，不得有浮尘、漏浆、油污、空鼓等质量问题，墙体外表面凸起物大于 10mm 时应剔除。穿墙孔及墙面缺损处应清理干净后用相应材料修补平整；墙面孔洞部位浇水湿润，将其补齐砌严。

(2) 既有建筑外墙表面空鼓、开裂部位应剔除。

3. 基层墙体表面应均匀满涂一薄层界面砂浆；吸水率比较大的砌体墙要先淋湿墙面，阴干后方可喷刷界面砂浆。

4. 弹控制线、拉基准线应符合下列要求：

(1) 根据建筑物立面设计和外墙外保温技术要求，在墙面弹出外门窗水平、垂直控制线。

(2) 在聚苯板粘贴的起始位置，沿建筑物周边弹出水平线。聚苯板施工前在阳角预贴标准块并沿标准块上沿挂水平控制线，在同一墙面的两道垂直通线间拉横向厚度控制线。

5. 贴砌聚苯板应符合下列要求：

(1) 在墙面与聚苯板的粘贴面均抹 5~10mm 厚的贴砌浆料，随即将聚苯板粘贴于墙面上，粘结层厚度控制在 10mm 左右。粘贴聚苯板时应挤出碰头灰，聚苯板间灰缝宽为 10mm，灰缝不饱满处及 XPS 板两开孔处用贴砌浆料填平。

(2) 聚苯板自下而上从起始位置开始沿水平粘贴，由边角处向中间粘贴，聚苯板在角部应交错咬合，墙面部位聚苯板上下错缝粘贴（图 5-3），及时用靠尺检查其平整度。

(3) 聚苯板贴砌遇到非标准尺寸时，可进行现场裁切。裁切时应注意边口尺寸整齐，切口应与聚苯板面垂直。

(4) 门窗洞口四角处聚苯板不得拼接，应采用整块聚苯板切割成形，聚苯板接缝应离开角部至少 200mm（图 5-4）。

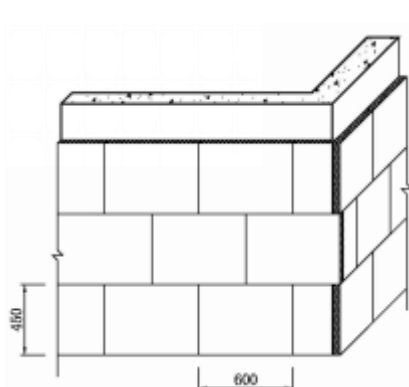


图 5-3 聚苯板墙角排板示意 (单位: mm)

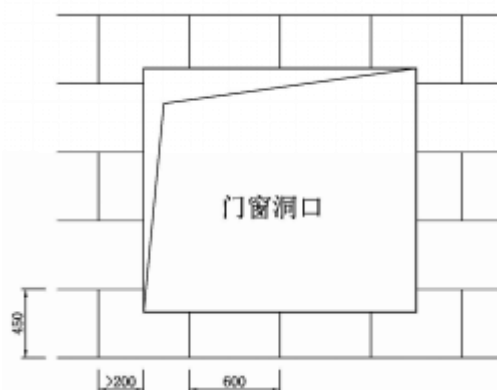


图 5-41 门窗洞口聚苯板排板示意 (单位: mm)

6. 外窗(门)洞口室外部分的侧墙面应用胶粘剂粘贴厚度不低于 30mm 的 XPS 板, 外窗(门)框与 XPS 板之间预留 20mm 宽的缝隙用柔性止水砂浆填塞, 并用 JS 防水涂料进行防水处理。

7. 抹贴砌浆料防火找平应符合下列要求:

(1) 在找平施工前, 应弹出找平层的厚度控制线, 用贴砌浆料做标准厚度灰饼。

(2) 贴砌浆料找平应按照从上至下、从左至右的顺序施工。

(3) 贴砌浆料抹灰可分两遍完成, 第一遍抹灰应使平整度达到 $\pm 5\text{mm}$, 第二遍抹灰厚度可略高于灰饼厚度, 然后用杠尺刮平并修补墙面以达到平整度要求。

8. 抗裂层和饰面层施工参考保温浆料系统的抗裂层和饰面层施工。

13.2.3 现浇混凝土无网聚苯板系统施工要点

1. 现浇混凝土无网聚苯板系统的施工工序应符合图 5-5 的要求。

2. 剪力墙钢筋验收合格后, 在钢筋的外侧按梅花状分布绑扎垫块, 双向间隔 600mm。

3. 安装聚苯板应符合下列要求:

(1) 将聚苯板就位位于剪力墙钢筋的外侧, 企口缝应对齐。

(2) 先安装阳角板和阴角板, 然后按顺序拼装角板之间的间聚苯板。

(3) 聚苯板安装完毕后, 在板缝及板中间按梅花状分布设置塑料卡钉, 双向间距 600mm, 并将塑料卡钉用钢丝绑扎固定在钢筋上。

4. 安装模板应符合下列要求:

(1) 应按聚苯板厚度确定角模、平模板配制尺寸、数量, 宜采用钢质大模板。

(2) 安装上一层模板时, 下一层墙体混凝土强度应达到 7.5MPa。

涂刷界面剂

面砖勾缝

图 5-5 现浇混凝土无网聚苯板系统施工工序

(3) 一般先安装角模, 模板上下部位要有可靠的定位措施, 连接应严密、牢固, 必要时附加支撑。

5. 浇筑混凝土应符合下列要求:

(1) 在浇筑混凝土前, 应在聚苯板槽口处连同外模板扣上金属“Π”形保护罩。

(2) 振捣棒移动水平间距宜为 400mm, 严禁将振捣棒紧靠聚苯板进行振捣。

6. 拆除模板应符合下列要求:

(1) 应先拆除外墙外侧模板, 再拆除外墙内侧模板。

(2) 穿墙套管拆除后, 混凝土墙部分孔洞应用干硬性砂浆捻塞, 并在外侧留出不小于聚苯板厚度的余量, 随后用高效保温材料堵塞。

- (3) 拆除模板后，聚苯板界面剂局部破坏处应进行修补。
7. 外窗（门）洞口室外部分的侧墙面处理参考贴砌聚苯板系统。
8. 抹贴砌浆料防火找平参考贴砌聚苯板系统的防火找平施工。
9. 抗裂层和饰面层施工参考保温浆料系统的抗裂层和饰面层施工。

13.2.4 现浇混凝土有网聚苯板系统施工要点

1. 现浇混凝土有网聚苯板系统的施工工序应符合图 5-6 的要求。
2. 剪力墙钢筋验收合格后，在钢筋的外侧按梅花状分布绑扎垫块，双向间隔 600mm。

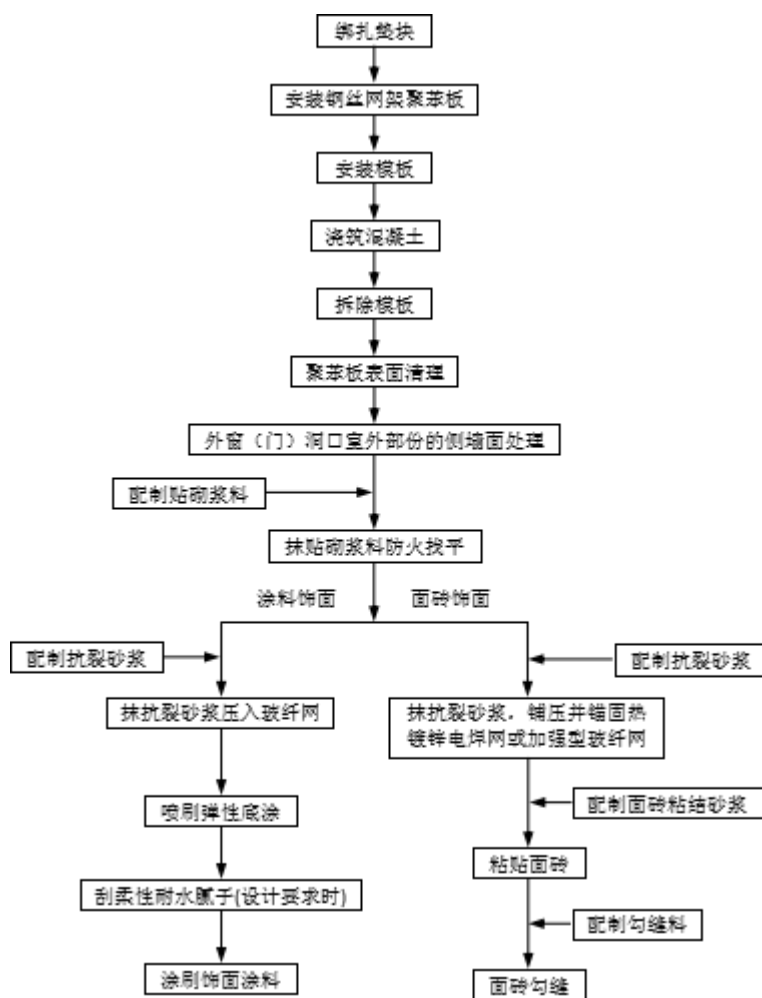


图 5-6 现浇混凝土有网聚苯板系统施工工序

3. 安装钢丝网架聚苯板应符合下列要求：

- (1) 将钢丝网架聚苯板就位剪力墙钢筋的外侧，用机械固定件穿透钢丝网架聚苯板将其绑扎固定在钢筋上；
- (2) 板缝处钢丝网用火烧丝绑扎，间隔 150mm；或用钢丝网片搭接，搭接宽度 50mm。外墙阳角及窗口、阳台底边处，可附加角网及连接平网，搭接宽度不小于 200mm。

4. 安装模板应符合下列要求：

- (1) 在模板安装前应将墙身控制线内的杂物清扫干净；
- (2) 宜先安装角模，模板上下部位要有可靠的定位措施，连接应严密、牢固，必要时应附加支撑，防止出现错台和漏浆现象。

5. 浇筑混凝土应符合下列要求：

(1) 在浇筑混凝土前，应在钢丝网架聚苯板槽口处连同外模板扣上金属“Π”形保护罩。

(2) 振捣棒移动水平间距宜为 400mm，严禁将振捣棒紧靠聚苯板进行振捣。

6. 拆除模板应符合下列要求：

(1) 应先拆除外墙外侧模板，再拆除外墙内侧模板。

(2) 穿墙套管拆除后，混凝土墙部分孔洞应用膨胀水泥砂浆捻塞，聚苯板厚度部分，用高效保温材料填塞。

(3) 拆除模板后，聚苯板界面剂局部破坏处应进行修补。

7. 外窗（门）洞口室外部分的侧墙面处理参考贴砌聚苯板系统。

8. 抹贴砌浆料防火找平参考贴砌聚苯板系统的防火找平施工。

9. 抗裂层和饰面层施工参考保温浆料系统的抗裂层和饰面层施工。

13.2.5 喷涂聚氨酯系统施工要点

1. 喷涂聚氨酯系统的施工工序应符合图 5-7 的要求。

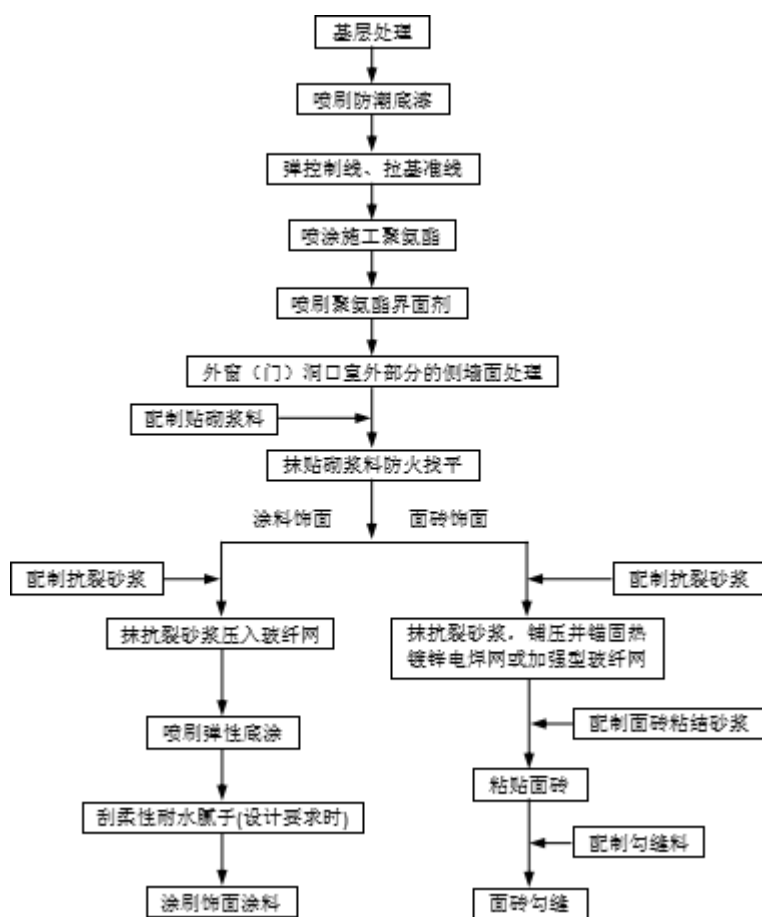


图 5-7 喷涂聚氨酯系统施工工序

2. 基层处理应符合下列要求：

(1) 保温层施工前应进行基层处理，在基层墙体外表面抹水泥砂浆找平，表面应平整、洁净、干燥，不得有浮尘、漏浆、油污、空鼓等质量问题，墙体外表面凸起物大于 10mm 时应剔除。穿墙孔及墙面缺损处应清理干净后用相应材料修补平整；墙面孔洞部位浇水湿润，将其补齐砌严。

(2) 既有建筑外墙表面空鼓、开裂部位应剔除。

3. 基层墙体表面不得淋水，应在基层表面均匀喷刷防潮底漆，要求均匀无透底。
4. 弹控制线、拉基准线应符合下列要求：
 - (1) 根据建筑物立面设计和外墙外保温技术要求，在墙面弹出外门窗口水平、垂直控制线。
 - (2) 在建筑外墙大角（阴角、阳角）及其它必要处挂垂直基准钢线，每个楼层适当位置挂水平线。
5. 喷涂施工聚氨酯应符合下列要求：
 - (1) 喷涂施工前，应充分做好门窗等部位的遮挡工作。
 - (2) 开启聚氨酯设备将硬泡聚氨酯原料均匀喷涂于基层墙体上发泡，单次喷涂厚度不应大于 20mm，喷涂总厚度应符合设计厚度最低要求。
 - (3) 在第一层发泡后按双向 400~600mm 间距将保温层厚度标示杆垂直插至基层墙体硬面。
 - (4) 聚氨酯喷涂施工应注意防风，风速超过 4m/s 时不应施工。
 - (5) 喷涂 20min 后用裁纸刀、手锯等工具清理、修整遮挡部位以及超过保温层总厚度的突出部分。
6. 聚氨酯面层修整完毕且在喷涂 4h 之后，用喷枪或滚刷均匀地将聚氨酯界面剂喷刷于硬泡聚氨酯保温层表面。
7. 外窗（门）洞口室外部分的侧墙面处理应与贴砌聚苯板系统相同，粘贴 XPS 板也可由喷涂厚度不低于 30mm 的硬泡聚氨酯代替。
8. 喷涂后的硬泡聚氨酯保温层应充分熟化 48~72h 方可进行找平处理。抹贴砌浆料防火找平参考贴砌聚苯板系统的防火找平施工。
9. 抗裂层和饰面层施工参考保温浆料系统的抗裂层和饰面层施工。

13.2.6 锚固岩棉板系统施工要点

1. 锚固岩棉板系统的施工工序应符合图 5-8 的要求。

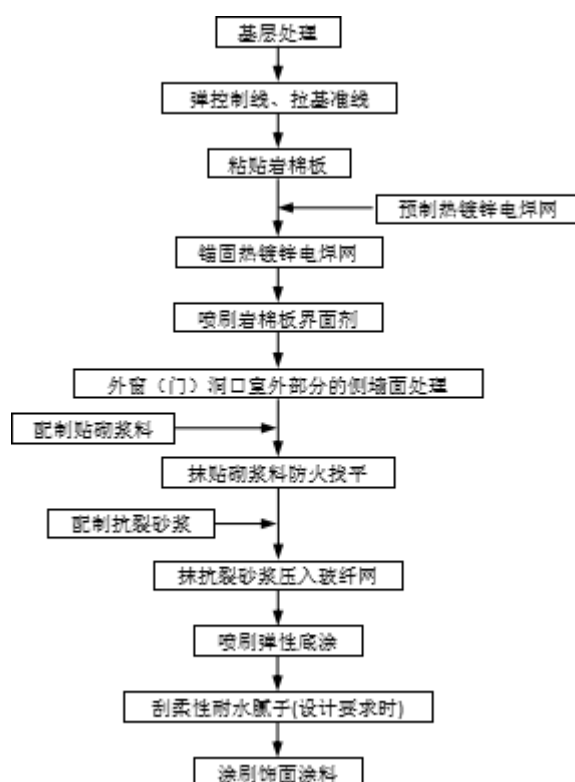


图 5-8 锚固岩棉板施工工序

2. 基层处理应符合下列要求：

(1) 保温层施工前应进行基层处理，表面应平整、洁净、干燥，不得有浮尘、漏浆、油污、空鼓等质量问题，墙体外表面凸起物大于 10mm 时应剔除。穿墙孔及墙面缺损处应清理干净后用相应材料修补平整；墙面孔洞部位浇水湿润，将其补齐砌严。

(2) 既有建筑外墙表面空鼓、开裂部位应剔除。

3. 弹控制线、拉基准线应符合下列要求：

(1) 根据建筑物立面设计和外墙外保温技术要求，在墙面弹出外门窗口水平、垂直控制线。

(2) 在建筑外墙大角（阴角、阳角）及其他必要处挂垂直基准钢线，每个楼层适当位置挂水平线。

4. 粘贴岩棉板应符合下列要求：

(1) 粘贴岩棉板前，应首先检查岩棉板是否干燥，表面是否平整、清洁；潮湿、表面不平整、有污染的岩棉板不得用于工程。

(2) 在经平整处理的外墙面上沿距散水标高 20mm 的位置用墨线弹出水平线。在底部第一排岩棉板的下侧板端与散水的间距不小于 200mm 的范围采用 XPS 板或硬泡聚氨酯板进行保温、防水处理，在首层岩棉板底部应使用锚栓安装经防腐处理的金属托架。

(3) 岩棉板应自下而上沿水平方向铺设粘贴，竖缝应逐行错缝 1/2 板长，在墙角处应交错互锁，并应保证墙角垂直度。

(4) 局部不规则处粘贴岩棉板可现场裁切，但必须注意切口与板面垂直。墙面边角处的岩棉板最小尺寸不应小于 300mm。

(5) 凡粘贴的岩棉板侧边外露处（如门窗洞口、女儿墙、变形缝处），都应用 JS 防水涂料粘贴玻纤网翻包处理，玻纤网翻包长度不小于 100mm，玻纤网翻过来后要及时地粘贴到岩棉板上。

5. 锚固热镀锌电焊网应符合下列要求：

(1) 岩棉板粘贴好后，按梅花状分布钻锚栓孔，每平方米墙面不得少于设计个数，孔深不得小于 40mm。锚栓个数按照当地风压值进行计算。

(2) 根据锚栓孔的位置，用塑料卡子将锚栓配套的扩压盘固定在岩棉板表面。

(3) 铺设热镀锌电焊网，安装锚栓将其固定好。门窗侧壁及墙体底部用预制的 U 型热镀锌电焊网片包边，墙体转角处用预制的 L 型热镀锌电焊网片包边，包边网片要同岩棉板一起由锚栓固定。

6. 热镀锌电焊网固定好后，应及时采用专用喷枪将配制好的岩棉板界面剂均匀喷到岩棉板表面，岩棉板表面及热镀锌电焊网上均需喷满岩棉板界面剂。

7. 外窗（门）洞口室外部分的侧墙面处理参考贴砌聚苯板系统。

8. 抹贴砌浆料找平参考贴砌聚苯板系统的防火找平施工。

9. 抗裂层和饰面层施工参考保温浆料系统涂料饰面做法的抗裂层和饰面层施工。

13.2.7 粘贴保温板系统施工要点

1. 粘贴保温板系统的施工工序应符合图 5-9 的要求。

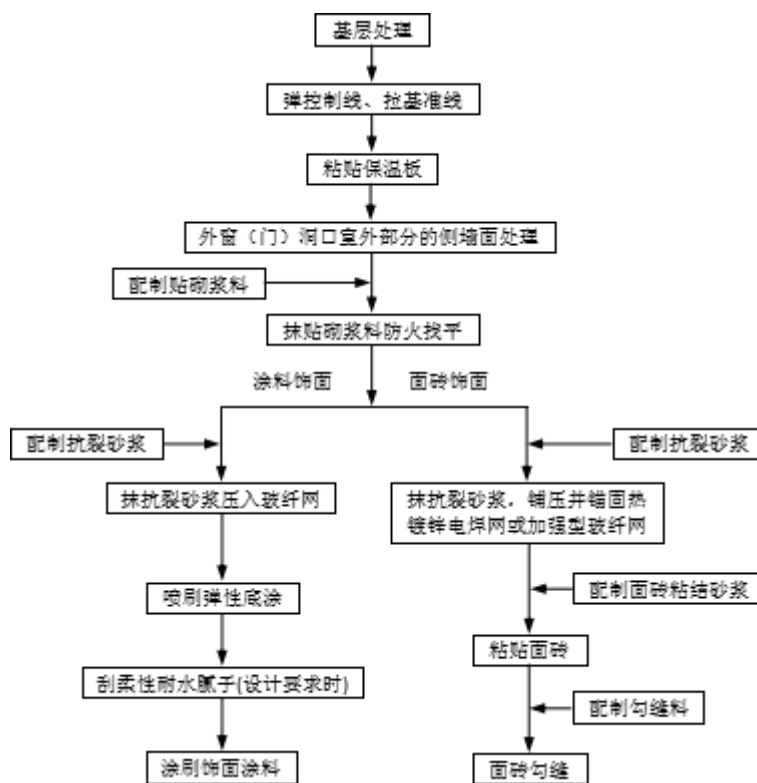


图 5-9 粘贴保温板系统施工工序

2. 基层处理应符合下列要求：

(1) 保温层施工前应作基层处理，表面应平整、洁净、干燥，不得有浮尘、漏浆、油污、空鼓等质量问题，墙体外表面凸起物大于 10mm 时应剔除。基层墙体为砌体以及平整度不符合相关标准要求的混凝土墙体，其外表面应抹水泥砂浆找平层。穿墙孔及墙面缺损处应清理干净后用相应材料修补平整；墙面孔洞部位浇水湿润，将其补齐砌严。

(2) 既有建筑外墙表面空鼓、开裂部位应剔除。

3. 弹控制线、拉基准线应符合下列要求：

(1) 根据建筑物立面设计和外墙外保温技术要求，在墙面弹出外门窗口水平、垂直控制线。

(2) 在建筑外墙大角（阴角、阳角）及其它必要处挂垂直基准钢线，每个楼层适当位置挂水平线。

4. 粘贴保温板应符合下列要求：

(1) EPS 板、XPS 板、内外表面应预先喷刷配套的界面剂，聚氨酯复合板、酚醛板可根据板材的需要涂刷配套的界面剂。

(2) 根据保温板控制线按顺砌方式粘贴保温板（EPS 板/XPS 板/聚氨酯复合板/酚醛板/增强竖丝岩棉复合板），竖缝应逐行错缝。保温板应粘贴牢固，有效粘贴面积符合设计要求，不得有连通空腔。

(3) 墙角处保温板应交错互锁；门窗洞口四角处保温板不得拼接，应采用整块保温板切割成形，保温板接缝应离开角部至少 200mm。

(4) 粘贴增强竖丝岩棉复合板时，应在每块增强竖丝岩棉复合板的下侧用射钉或专用锚栓安装两个“L”形托架（图 9-3-17），托架水平间距 300mm，将双“U”形插件的长端插入托架的板槽中，并使“U”形插件的两端均插入上下两层保温板厚度的中央位置。在底部第一排岩棉板的下侧板端与散水的间距不小于 200mm 的范围采用 XPS 板或硬泡聚氨酯板进行保温、防水处理。

(5) 设计有防火隔离带时，按设计要求安装增强竖丝岩棉复合板防火隔离带或其它防火隔离带材料。

5. 外窗（门）洞口室外部分的侧墙面处理参考贴砌聚苯板系统。
6. 抹贴砌浆料找平参考贴砌聚苯板系统的防火找平施工。
7. 抗裂层和饰面层施工参考保温浆料系统的抗裂层和饰面层施工。

13.3 施工质量验收

13.3.1 般规定

1. 胶粉聚苯颗粒复合型外墙外保温工程应按《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 和《建筑节能工程施工质量验收规范》GB 50411 的有关规定进行施工质量验收。
2. 胶粉聚苯颗粒复合型系统主要组成材料应按表 5-1 规定进行现场见证取样复验，抽样数量应符合《建筑节能工程施工质量验收规范》GB 50411 的规定。

表 5-1 胶粉聚苯颗粒复合型系统主要组成材料见证取样复验项目

材料	复验项目
聚苯板	表观密度，导热系数，抗拉强度，尺寸稳定性
硬泡聚氨酯	密度，导热系数，尺寸稳定性
岩棉板	密度，导热系数
增强竖丝岩棉板	岩棉丝方向、防护层厚度
保温浆料	干表观密度，导热系数，抗拉强度
贴砌浆料	干表观密度，导热系数，拉伸粘结强度
界面砂浆、界面剂、胶粘剂、抗裂砂浆	拉伸粘结强度
防潮底漆	附着力
玻纤网	单位面积质量，耐碱断裂强力，耐碱断裂强力保留率
热镀锌电焊网	丝径，网孔尺寸，焊点抗拉力

3. 胶粉聚苯颗粒复合型外墙外保温工程施工过程中，应及时进行质量检查、隐蔽工程验收和检验批验收，施工完成后应进墙体节能分项工程验收。与主体结构同时施工的墙体节能工程，应与主体结构一同验收。
4. 采用相同材料、工艺和施工做法的墙面，每 500~1000m² 面积划分为一个检验批，不足 500m² 也为一个检验批。检验批的划分也可根据与施工流程相一致且方便施工与验收的原则，由施工单位与监理（建设）单位共同商定。
5. 胶粉聚苯颗粒复合型外墙外保温工程竣工验收应提交下列文件：
 - (1) 外墙外保温系统的设计文件、图纸会审、设计变更和洽商记录；
 - (2) 施工专项方案；
 - (3) 外墙外保温系统的型式检验报告及其主要组成材料的产品合格证、出厂检验报告、进场复验报告和现场验收记录；
 - (4) 施工技术交底；
 - (5) 施工工艺记录及施工质量检验记录；
 - (6) 其他必须提供的资料。

13.3.2 主控项目

1. 胶粉聚苯颗粒复合型外墙外保温工程使用材料的品种、规格、性能应符合设计、本规程和相关标准要求。
 检验方法：观察、尺量检查；核查质量证明文件；检查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。
2. 保温层厚度应符合设计要求，其负偏差不得大于 3mm。

检查方法：插针法检查。

3. 硬泡聚氨酯保温层的喷涂质量应无流挂、塌泡、破泡、烧芯等不良现象，泡孔均匀、细腻，24h 后无明显收缩。

检查方法：观察检查。

4. 找平层厚度应符合设计要求。

检查方法：现场测量。

5. 粘贴保温板系统保温板粘贴面积应符合本规程规定。

检查方法：现场测量。

6. 锚固岩棉板系统的锚栓数量、锚固位置、锚固深度应符合设计要求。

检查方法：观察检查；卸下锚栓，实测锚固深度。

7. 采用面砖饰面层做法时，其安全性与耐久性必须符合设计要求；面砖饰面层应无空鼓和裂缝，现场检验面砖与抗裂层的拉伸粘结强度，其值不应小于 0.4MPa。

检查方法：小锤轻击和观察检查；按《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》JGJ 110 测试面砖与抗裂层的拉伸粘结强度。

8. 各构造层之间必须粘结牢固，无脱层、空鼓，面层无裂缝，粘结强度和连接方式应符合设计要求。

检查方法：观察检查，现场拉拔试验检查。

9. 外墙或毗邻不采暖空间墙体上的门窗洞口四周侧面的保温措施和墙体上凸窗四周侧面的保温措施应符合设计要求。

检查方法：对照设计观察检查，必要时抽样剖开检查；核查隐蔽工程验收记录。

10. 外墙热桥部位的隔断热桥或保温措施应符合设计要求。

检查方法：观察检查。

13.3.3 一般项目

1. 除采用现浇混凝土聚苯板系统外，胶粉聚苯颗粒复合型外墙外保温工程的基层处理应符合设计和施工方案的要求。

检查方法：对照设计和施工方案观察检查；核查隐蔽工程验收记录。

2. 聚苯板内、外表面应满涂配套的界面剂，表面应无粉化；硬泡聚氨酯、岩棉板外表面应满涂配套的界面剂。

检查方法：观察检查。

3. 玻纤网、热镀锌电焊网的铺贴和搭接应符合设计和施工方案的要求。抗裂砂浆抹压应密实，不得空鼓，玻纤网、热镀锌电焊网不得皱褶、外露。

检查方法：观察检查；核查隐蔽工程验收记录。

4. 抗裂层应平整、洁净，无脱层、空鼓和裂缝。

检查方法：观察检查。

5. 饰面层不得渗漏，保温层及饰面层与其他部位交接收口处的密封措施应符合设计要求。

检查方法：观察检查；核查试验报告和隐蔽工程验收记录。

6. 施工产生的墙体缺陷，如穿墙套管、脚手眼、孔洞等的隔断热桥措施应符合施工方案要求。

检查方法：对照施工方案观察检查。

7. 保温板材接缝方式应符合施工方案要求，保温板接缝应平整严密。

检验方法：观察检查。

8. 墙面上容易碰撞的阳角、门窗洞口及不同材料基体的交接处等特殊部位，其保温层防止开裂、破损的加强措施应符合设计和施工方案要求。

检验方法：观察检查；核查隐蔽工程验收记录。

9. 外保温墙面层的允许偏差和检验方法应符合表 5-2 的规定。

表 5-2 外保温墙面层的允许偏差和检验方法

项次	项目	允许偏差(mm)	检查方法
1	表面平整	4	用 2m 靠尺和楔形塞尺检查
2	立面垂直	4	用 2m 垂直检测尺检查
3	阴、阳角方正	4	用直角检测尺检查
4	分格缝(装饰线)直线度	4	拉 5m 线，不足 5m 拉通线，用钢直尺检查

14 外保温工程质量问题分析

14.1 模塑聚苯板外保温工程

EPS 板脱落的案例

以下几个工程项目采用的是 EPS 板薄抹灰做法，出现了大面积 EPS 板脱落事故，不仅造成了较大的经济损失，而且引起了社会的广泛关注。

案例一：乌鲁木齐北京路科学一街科学院家属院的 18 号楼，其侧面墙 EPS 板从一楼窗户处至六楼屋檐下全部脱落，高约 15m，面积约 200m²。砸坏了三辆轿车，所幸并未伤人（图 6-1）。



图 6-1 EPS 板保温层脱落

14.1.1 EPS 板脱落的原因

EPS 板薄抹灰外墙外保温系统保温层的脱落大部分是因为粘贴方式及粘贴面积不符合设计及技术标准要求等因素造成的。如果粘贴面积过小，EPS 板和墙体基层之间粘结强度不够，或留有连通空腔，加之粘贴方式不规范，密封不好，使负风压对保温墙面的空腔影响较大。由风压引起的应力多集中在板缝处，因而易造成板缝处开裂，最终导致 EPS 板大面积脱落。

(1) 风压破坏

EPS 板外墙外保温系统粘贴方式分有空腔和无空腔。带连通空腔的 EPS 板外墙外保温系统，在负风压区，空腔内空气压强大于外界空气压强，从而对 EPS 板外墙外保温系统产生由内向外的推拉力，用纯点粘法施工的 EPS 板外保温系统最容易发生 EPS 板大面积脱落。无空腔的 EPS 板保温系统，因保温板与基层墙体满粘，抗负风压能力强，一般不会脱落。

当负风压对 EPS 板外墙外保温系统的作用力大于粘结砂浆与基层墙体或粘结砂浆与 EPS 板之间的粘结力时，EPS 板外墙外保温系统会出现脱落，表现为：负风压力在瞬间或者一次大风期间（即短时间内）将 EPS 板外墙外保温系统破坏，通常见到的 EPS 板外墙外保温系统被风吹掉的工程案例都是与负风压力作用有关。

(2) 连通空腔

但在现场实际施工操作过程中，施工人员若没有按照点框粘工艺要求进行操作，将框的部分给予省略，即有点无框的“纯点粘”，便形成连通空腔，这是严重的质量事故。

采用纯点粘法时，由于 EPS 板的四个周边没有与基层粘结，使 EPS 板的变形没有约束支点，从受力角度看相当于简支梁变成了悬臂梁，在正负风压力的作用下，使 EPS 板变形幅度比点框粘法的要大得多，增加了大面积脱落的可能性；纯点粘法将点框法的闭合空腔变成了连通的大空腔，连通空腔产生的负风压便会以整体施力的形式，施加于粘结面积较小的薄弱的粘结部位，破坏其粘结力，会把各个胶粘剂点逐个击破，加上外保温防护面层无法束缚大空腔的外保温系统在垂直于墙面方向的自由度，从而导致 EPS 板大面积脱落。在负压易发生区位置，如果采用有连通空腔的保温层做法，负压产生的由基

层墙体向 EPS 板的推拉力会集中在负压最大的位置，导致负压易发生部位的破坏，造成开裂或脱落（如图 6-2）。



图 6-2 纯点粘法造成的脱落

14.1.2 防止 EPS 板脱落的措施

(1) 闭合小空腔构造

鉴于连通空腔的外保温系统在负风压的作用下容易脱落，国内外的技术标准都规定：EPS 板与基层墙体的粘结面积必须大于 40%，EPS 板与基层墙体的粘结面必须是闭合空腔，多采用点框粘法施工。

目前 EPS 板点框粘法大多采用 EPS 板尺寸是 1200mm×600mm 或 900mm×600mm（如图 6-3）。虽然此类 EPS 板尺寸大，施工速度可以大幅度提升，但是当进行保温层施工时压板的一端很容易造成另一端翘起，引起另一侧的板面虚贴、空鼓，在粘贴时难以达到 100% 的饱满度。若采用闭合小空腔做法（如图 6-4），其 EPS 板的规格尺寸为 600mm×450mm，不但便于工人施工操作，而且可以确保有效粘结面积，同时也可以防止连通空腔存在。每块尺寸 1200mm×600mm EPS 板用粘结砂浆约 3.95kg，粘结率约 41%，其每平方米消耗量 5.49kg；每块尺寸 600mm×450mm EPS 板用粘结砂浆约 2.04kg，粘结率约 56%，其每平方米消耗量 7.56kg；由此可见，闭合小空腔做法不但符合工人实际操作的把控，而且有效粘结面积大。闭合小空腔做法已编入北京、陕西省等地方标准中推广应用。

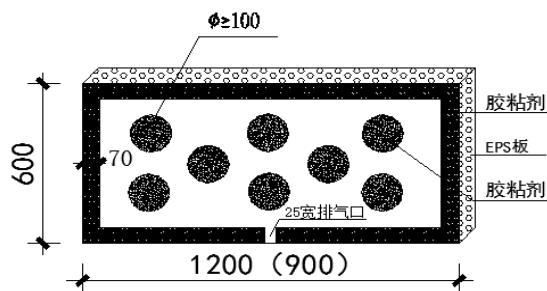


图 6-3 传统点框粘保温板粘结示意

当采用的 EPS 板尺寸是 1200mm×600mm 施工时，若只打点不做框（如图 6-5），则每块板用粘结砂浆只需 0.85kg，粘结率也下降到约 8.70%，其每平方米消耗量只用 1.73kg。这种施工操作不但可成倍节约材料，而且也使施工速度大幅度提高，是典型的偷工减料做法，势必造成工程质量事故，是绝对不允许的。

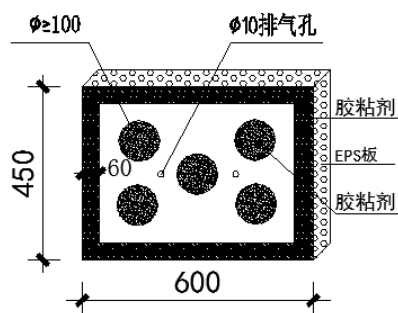


图 6-4 闭合小空腔保温板粘结示意

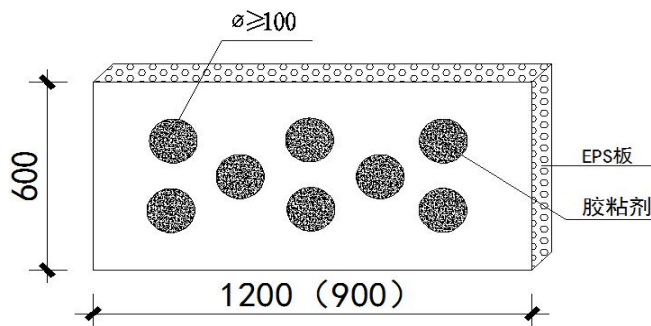


图 6-5 纯点粘法保温板粘结示意

(2) 无空腔构造

“贴砌 EPS 板系统”的基本构造见图 6-6，采用 15mm 厚胶粉聚苯颗粒贴砌浆料抹于墙体表面，将开好横向梯形槽并预先涂刷界面剂的聚苯板粘贴砌筑好，EPS 板外表面再用 20mm 厚胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平，形成“胶粉聚苯颗粒贴砌浆料+EPS 板+胶粉聚苯颗粒贴砌浆料”的无空腔复合保温层；预留的 10mm 宽板缝用砌筑时挤出的胶粉聚苯颗粒贴砌浆料碰头灰填实并刮平；抗裂防护层采用抗裂砂浆复合涂塑耐碱玻纤网格布构成。该做法一方面相当于在每个 EPS 板周围增加了一圈胶粉聚苯颗粒贴砌浆料锚固件，进一步增强了系统整体粘结力和抗风压能力；另一方面又提高了 EPS 板保温层的水蒸气渗透能力；而最主要的还是能分解消纳 EPS 板胀缩时集中产生的应力，它可以将应力传递给胶粉聚苯颗粒贴砌浆料粘结层和找平层，然后再向面层逐层释放，可有效避免裂缝的发生；另外，EPS 板的六面全部被胶粉聚苯颗粒贴砌浆料包围，可在一定程度上限制 EPS 板的胀缩变形。贴砌 EPS 板做法充分考虑了 EPS 板上墙后陈化收缩的特性，通过粘结层、找平层和板缝处的胶粉聚苯颗粒贴砌浆料对产生应力限制、传递、分解、消纳，有效地解决了 EPS 板后收缩易导致板缝处裂缝的问题。

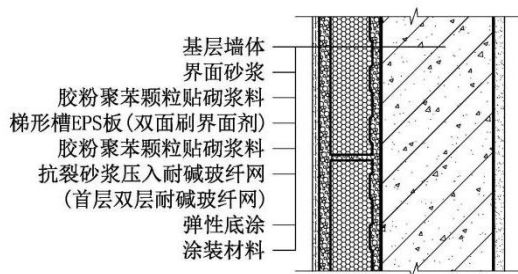


图 6-6 胶粉聚苯颗粒贴砌 EPS 板

外保温系统基本构造

14.2 挤塑聚苯板外保温工程

14.2.1 XPS 板外保温质量问题案例

XPS 板外保温工程在外界环境变化引起的热应力的反复作用下，面层的开裂、脱落十分严重，如图 6-7、图 6-7。



图 6-7 XPS 板外保温饰面层开裂



图 6-7 XPS 板外保温饰面层开裂及脱落

XPS 板外保温系统粘结层若形成了连通空腔，在负风压作用下更容易被破坏，会出现 XPS 板大面积脱落现象，如图 6-8。

XPS 板的表面很光滑，吸水率低，难与面层材料形成牢固粘结，因而容易造成饰面层脱落，如图 6-9。

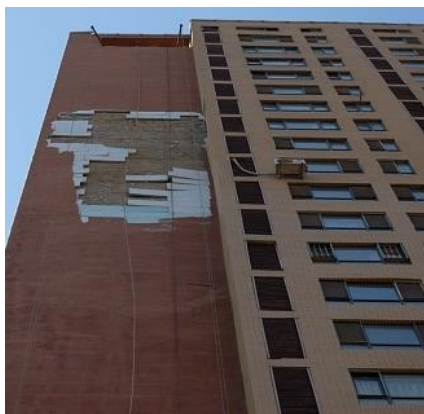


图 6-8 连通空腔使 XPS 板大面积脱落



图 6-9 XPS 板吸水率低导致饰面层脱落

14.2.2 XPS 板薄抹灰系统开裂起鼓原因分析

(1) XPS 板温差变形明显

在不同材料的界面上，温差变形在约束条件下产生剪应力。产生较大相对变形的前提是温差和两种材料的热膨胀系数差异都大，而产生较大应力的必要条件是它们之间存在较大的约束。在 XPS 板薄抹灰外保温系统中，XPS 板内侧温度变化很小，基本上稳定在 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，各界面上温差应力不大；XPS 板外侧温差很大（夏季时，外墙表面温度可达到 70°C 左右，由于抗裂层和饰面层没有隔热作用，XPS 板外侧温度也基本上可以达到 70°C 左右，而冬季时 XPS 板外侧温度可降至 -20°C 以下，年温差高达 90°C ，昼夜温差也达到 50°C ），XPS 板抹面砂浆界面，热膨胀系数差异大，但 XPS 板弹性模量高（超过 20MPa ），它对抹面砂浆有很强的约束。因此，界面应力大，并且在板缝处产生大量的应力集中，导致板缝处应力状态极不稳定，引起开裂。

(2) XPS 板透气性差

XPS 板内部为独立的蜂窝状密闭式气泡结构，板的正反两面都没有缝隙，使漏水、冷凝、冰冻和解冻循环等情况产生的湿气无法渗透，使得 XPS 板几乎没有透气性。

XPS 板透气性差、吸水率低，而聚合物砂浆中的部分毛细孔被聚合物乳液封闭，增加了水汽在聚合物砂浆中的传湿难度，就使得大量水汽在聚合物砂浆与 XPS 板之间形成累积，最终造成涂膜起泡等物理性破坏。如果这些破坏作用互相叠加，会造成更大的破坏。通过微观分析发现聚合物膜吸湿膨胀，被水肿胀之后聚合物膜开始软化，降低了聚合物膜桥接的作用，最终聚合物膜由于降解失去粘结力。

(3) 风压影响

1. 连通空腔

XPS 板薄抹灰外墙外保温系统的粘结方法主要是点框粘法，但在现场实际操作时，往往出现偷工减料等因素，点框粘往往会变成纯点粘，即有点无框，形成连通空腔。

在此情况下，采用纯点粘法时，由于 XPS 板的四个周边没有与基层粘结，使 XPS 板的变形没有约束支点，从受力角度看相当于简支梁变成了悬臂梁，在正负风压力的作用下，使 XPS 板变形幅度比点框粘法的要大得多，呈几何倍数地增加了开裂的可能性和裂缝程度；同时，纯点粘法将点框粘法的小空腔变成了贯通的大空腔，一块板的松动或开裂透风，连通空腔产生的负风压便会以整体施力的形式，施加于粘结力较为薄弱的粘结点，破坏其粘接力，会把各个胶粘剂点逐个击破，加上外保温防护面层无法束缚大空腔的外保温系统在垂直于墙面方向的自由度，导致从大面积来看粘结面积不够。在负压易发生区位置，如果采用有连通空腔的保温层做法，负压产生的拉力会集中在负压最大的位置，导致负压易发生部位的破坏，造成开裂或脱落。

XPS 板薄抹灰外墙外保温系统即便是采用条粘法或严格意义上的点框粘法施工，但由于 XPS 板表面光滑且强度高，一般的粘结砂浆很难与其粘贴牢固，在使用过程中也会发生存在整体贯通的空腔，而贯通空腔的存在更易受到风压的破坏。正负风压对保温墙面的挤压力或吸力的释放点均为板缝处，极易造成板缝处开裂。而在建筑物高处的背风面，会产生很大的负风压，在这些部位粘贴 XPS 板，即使采用了锚栓进行加固，也极有可能被负风压吸掉或撕坏，锚栓仅能保护住锚栓圆盘所覆盖的部位。

2. 板缝开裂

保温板薄抹灰外墙外保温系统施工规程规定，板材之间大于 1.5mm 的缝隙，需要用聚氨酯填缝剂或者其他材料密封，然而在实际施工中由于板缝处理费时费工，很多项目就忽略了板缝处理，使板缝处成为质量隐患的关键部位，不仅会在板材自身不稳定及热应力作用下被破坏，而且还会在风压作用下开裂。如图 6-10 所示，板材缝隙处是负风压作用集中部位，容易出现鼓起甚至开裂，进而造成保温板的脱落。

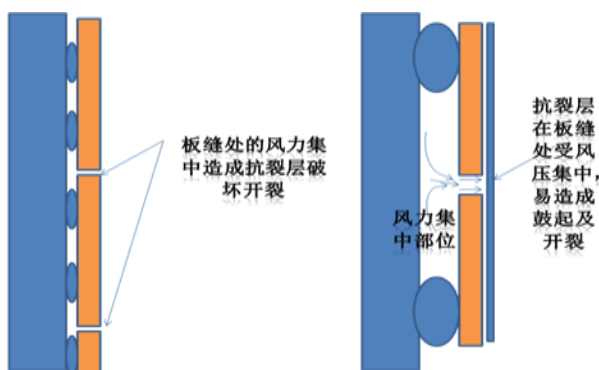


图 6-10 风压对外墙薄抹灰系统开裂影响示意图

(4) 结露影响

外墙中的结露是指当外墙某处的温度低于该处空气的露点温度时，该处水蒸气液化的现象。结露可能出现在外墙表面，也可能出现在水蒸气在迁移的过程中（即外墙内部）。

当外墙的两侧存在水蒸气分压力差时，水蒸气分子将从压力较高的一侧通过外墙体向低的一侧迁移扩散。水蒸气在通过外墙时，如果外墙构造方式不具有热湿传递的合理性时，在材料的空隙中就会凝结成水，造成内部结露受潮。

采用 XPS 板薄抹灰外保温做法时，在夏季，内墙面温度远远大于空气的结露温度，不会出现结露现象。在冬季，XPS 板以内的温度均大于结露温度，也不会出现结露；但 XPS 板外表面温度低于结露温度，空气湿度较大时，容易在 XPS 板外表面抹面胶浆层产生结露，形成结露水。由于抹面胶浆层厚度很薄，能吸收的液态水量很少，抹面胶浆将处在液态水的长期反复浸润作用下而降低强度和粘结力；另外，干燥时还会产生干湿变形，极易引起空鼓和脱落现象。

14.2.3 XPS 板应用中存在问题的处理方法

在《胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统材料》JG/T 158—2013 标准中，详细规定了 XPS 板外保温系统怎样做才能够保证稳定、不开裂、不脱落，才能确保外保温工程质量，具体措施如下：

(1) 要选择合理的外墙保温系统构造。采用胶粉聚苯颗粒贴砌 XPS 板外墙外保温系统构造，可以有效解决 XPS 板的热应力变形，XPS 板与墙体之间的无空腔满粘可解决负风压的破坏。其具体构造做法如图 6-11。XPS 板沿长度方向的中轴线上宜开设两个垂直于板面的通孔，孔径(40~60)mm，孔心距 200mm (图 6-12)，这样有利于满粘施工，并可改善系统的透气性，减少空鼓。

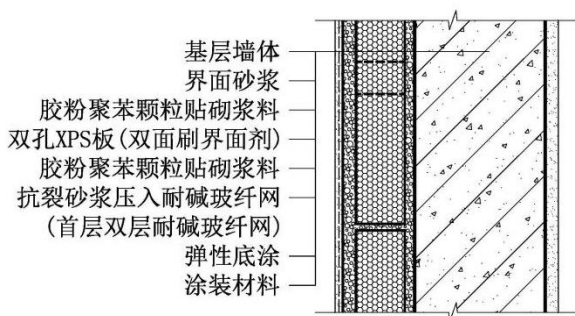


图 6-11 胶粉聚苯颗粒贴砌 XPS 板外

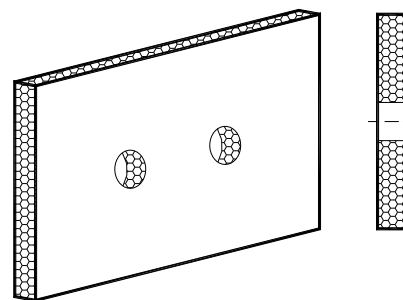


图 6-12 双孔 XPS 板保温系统基本构造

(2) 板材尺寸不宜过大，最好为 450mm×600mm，由于 XPS 板比较硬，板材尺寸过大容易产生虚贴。

(3) 在 XPS 板外侧用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料进行找平过渡，厚度不宜小于 20mm，主要作用有：

①可满足 XPS 板外保温系统耐候性需求。通过耐候性试验验证发现，随着保温板外侧胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平层厚度的增加，系统耐候能力有明显的提升。

②XPS 板和抗裂防护层的聚合物砂浆不管是线膨胀系数，还是弹性模量都存在非常大的差距，当系统受温湿度影响时，相邻材料由于变形速度差过大，产生应力集中，当应力超过抗裂防护层聚合物砂浆的粘结强度时，系统就会出现开裂。而在 XPS 板外侧用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料进行找平处理，可起到过渡作用（胶粉聚苯颗粒贴砌浆料的弹性模量处在二者之间），避免了 XPS 板与抗裂防护层的聚合物砂浆直接接触，降低相邻材料变形速率差，使各构造层的变形同步化，减小了由于变形速率差产生的剪应力，确保整个系统不会出现开裂、空鼓和脱落，保证了系统的安全性和耐久性。

③胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平层相当于水分散层构造层，它具有优异的吸湿、调湿、传湿性能，可以吸收因 XPS 板透气性差或结露产生的少量的水蒸气冷凝水，避免了液态水聚集后产生的三相变化破坏，提高了系统粘结性能和呼吸功效，保证了外保温工程的长期安全性和稳定性。

(4) 采用 XPS 板进行外保温时，应严把施工质量关，严格执行施工工艺和质量验收标准，确保外保温工程质量。

14.3 现浇混凝土模塑聚苯板外保温工程

14.3.1 质量问题案例

(1) 现浇混凝土无网 EPS 板外保温系统

图 6-13 是青岛某现浇混凝土无网 EPS 板外保温工程面层开裂的照片。从照片上可以看出面层裂缝十分明显，各个方向的裂缝都有，也存在明显的起鼓现象。



图 6-13 现浇混凝土无网 EPS 板外保温系统面层开裂

(2) 现浇混凝土网架 EPS 板外保温系统

现浇混凝土网架 EPS 板外保温工程面层开裂现象十分普遍。北京广安门地区某工程采用的是现浇混凝土网架 EPS 板外保温做法，工程经过几年的风吹雨打后，面层出现了大量裂缝和爆皮现象，如图 6-14。



图 6-14 现浇混凝土网架 EPS 板外保温工程面层开裂爆皮

北京望京地区某高层建筑同样采用了现浇混凝土网架 EPS 板外保温做法，饰面层既有涂料，也有面砖，但没过几年，涂料饰面做法整个墙面均存在各种类型的裂缝，而面砖饰做法也存在将饰面砖拉裂的裂缝，如图 6-15。

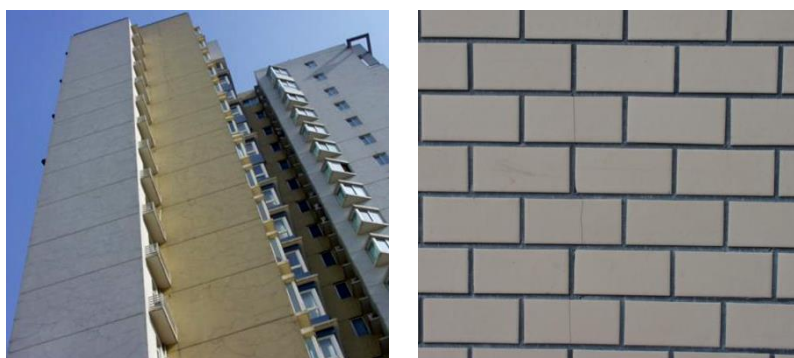


图 6-15 现浇混凝土网架 EPS 板外保温工程涂料饰面开裂、面砖拉裂案例

图 6-16 为内蒙古呼和浩特某工程的照片，该工程采用了现浇混凝土网架 EPS 板外保温做法，饰面层粘贴面砖。该工程刚投入使用，就出现了饰面砖被拉裂、饰面砖脱落现象。



图 6-16 现浇混凝土网架 EPS 板外保温工程面砖拉裂、脱落案例

14.3.2 质量问题原因分析

(1) 现浇混凝土无网 EPS 板外保温系统

1. 平整度和垂直度较难控制

由于现浇混凝土时是分层施工，现浇时混凝土下部的侧压力比上部大，因此每层 EPS 板的下部受到的挤压力及压缩变形都比上部大，拆卸外侧模板后，EPS 板下部的回弹量要比上部的回弹量大，因此在各层 EPS 板相接处易出现台阶，造成表面平整度差。施工时通常在绑扎 EPS 板时采用上松下紧及调整模板倾角的办法来控制平整度，但其效果有限，个体差异较大，难以彻底解决问题。另外由于现浇施工表面平整度控制困难，工程通高垂直偏差较大，局部达到 40~60mm。为了保证最终的平整度和垂直度，施工单位通常会对 EPS 板打磨，这将造成 EPS 板厚度不均，整个墙面的热工性能存在差异，进而造成防护面层的温度不一致，也就会造成防护面层变形不一致而引起开裂；而且，打磨还会破坏聚苯乙烯颗粒的粘结性，并产生大量粉末，从而无法保障抹面砂浆与 EPS 板的粘结力。另外，还存在着利用防护面层来进行找平的问题，使得防护面层厚度不均而引起开裂。

2. 存在局部破损和污染

由于 EPS 板表面强度低，在支模和拆卸外模板时，EPS 板表面不可避免受到损坏，如阳角和外侧板的下支撑架处及穿墙螺孔等部位，混凝土在浇筑时难以避免出现漏浆而形成热桥，热桥的存在不仅会影响到墙体的热工性能，同样可能引起局部开裂。

(2) 现浇混凝土网架 EPS 板外保温系统

经调查分析发现，出现开裂和饰面砖断裂脱落的现浇混凝土网架 EPS 板外保温工程，其钢丝网架 EPS 板面层均采用普通水泥砂浆或掺有少量聚合物的水泥砂浆进行厚抹灰找平抹面，不符合行业标准《现浇混凝土复合膨胀聚苯板外墙外保温技术要求》JG/T 228 中“在 EPS 板或钢丝网架 EPS 板面层增加一定厚度的轻质防火保温浆料找平”的规定，因而存在着面层开裂的风险。

1. 抹面层厚度大，普通水泥砂浆或聚合物水泥砂浆自身易开裂

水泥砂浆自身易产生各种收缩变形而开裂，增加厚度时，更容易开裂。掺入聚合物时，可以改变水泥砂浆的柔性，起到相应的防裂效果，但若掺入量太少，砂浆柔性不够，也易开裂；但若加大掺入量，则会显著提高成本，经济效益差，不具有可操作性。钢丝网架 EPS 板中钢丝网片的网格比较大，钢丝的刚度也比较大，对应力的分散作用不大，因此是无法消除抹面层开裂现象的。

在现浇混凝土网架 EPS 板外保温系统中，采用普通水泥砂浆或聚合物水泥砂浆抹面时，其厚度将达到 20~30mm，较大的厚度将降低该构造层的柔性而引起开裂。另外，由于钢丝网架 EPS 板在浇筑过程中整个墙面的平整度和垂直度难以准确控制，这就会使抹面层厚度不均，造成抹面层局部收缩和温差应力不一致，从而引起开裂。由于普通水泥砂浆或聚合物水泥砂浆构造层处于钢丝网架 EPS 板保温层外侧，将受到室外环境温度变化

的影响而产生较大变形,在这种室外环境温度长期影响的作用下,会使普通水泥砂浆或聚合物水泥砂浆产生疲劳变形而开裂。

2. 荷载过大产生挤压开裂

在现浇混凝土网架 EPS 板外保温工程中,由于平整度较差,抹面层很厚,钢丝网架 EPS 板外侧每平方米荷载可高达 80kg 甚至 100kg 以上,在这样的荷载长期作用下钢丝网架 EPS 板会产生徐变,使整个硬质面层产生重力挤压造成裂缝。

3. 形成不合理的夹芯保温构造而引起开裂

采用至少 20mm 厚的普通水泥砂浆或聚合物水泥砂浆对钢丝网架 EPS 板找平抹面后,抹面层与钢筋混凝土基层墙体将 EPS 板夹在中间形成了类似夹芯保温的构造,而夹芯保温易开裂在第 2 章中已有论述。

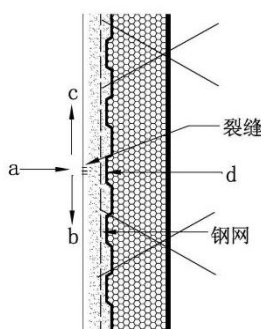


图 6-17 单面钢丝网架在砂浆中的位置

采用普通水泥砂浆或聚合物水泥砂浆对钢丝网架 EPS 板进行找平抹面后,若想以采用粘贴面砖的方法来掩饰裂缝也很难做到,由于保温层外表面年温差最高可达 80℃ 以上,保温层两侧的变形又不一致,钢丝网架外侧的抹面层砂浆强度过高,不可避免地会造成开裂现象,而且巨大的变形应力还会将饰面层粘贴的面砖拉裂,甚至造成面砖脱落。

4. 单面钢丝网架构造设计不合理引起开裂

正负风压、热胀冷缩、湿胀干缩、地震力等均产生两个方向的作用力。该种方式的配筋对抵抗和分散 a 方向的应力具有良好的效果,但对抵抗和分散 b、c、d 三个方向的应力作用十分有限,易产生裂缝。由于抹面层砂浆的收缩以及钢丝网架在抹面层砂浆中位置不一致等原因,造成抹面层开裂的现象十分普遍。由于抹面层产生裂缝处的变形应力较大,粘贴面砖时易引起此处面砖勾缝胶产生裂缝,甚至面砖也被拉裂。如果水从裂缝处渗入还会直接对钢丝网产生锈蚀,破坏将更加严重。

14.3.3 解决方案

按照行业标准《现浇混凝土复合膨胀聚苯板外墙外保温技术要求》JG/T 228 的规定,在 EPS 板或钢丝网架 EPS 板面层增加一定厚度的轻质防火保温浆料找平,可有效防止面层裂缝的产生,轻质防火保温浆料宜选胶粉聚苯颗粒贴砌浆料,厚度不宜低于 20mm。

(1) 现浇混凝土无网 EPS 板外保温系统

在现浇混凝土无网 EPS 板外保温系统中,根据平整度及垂直度差异可采用不低于 20mm 厚的胶粉聚苯颗粒贴砌浆料对 EPS 板外表面整体找平处理。该方法解决了上下层 EPS 板台阶、整体平整度及垂直度问题,可以方便地对门窗洞口、施工时留下的穿墙孔、EPS 板局部破损处进行保温和修补,同时对难以避免的“热桥”可以灵活地采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料进行断桥处理。

板缝处是应力集中释放区,当板缝处出现台阶时由于抹面砂浆在此处存在厚度差异,易产生裂缝。采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料整体找平后,起到了均质化作用,避免了板缝易开裂的问题,具有良好的抗裂性能。

图 6-18 是青岛某工程同一工地、同一施工队、同一建筑构造外保温工程对比。(a)是浇筑 EPS 板后将 EPS 板不平整处打磨,然后在 EPS 板上直接抹抗裂砂浆复合玻纤网格布。

该工程出现了较为严重的裂缝。(b)是浇筑 EPS 板后采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平，然后抹抗裂砂浆复合玻纤网格布，该工程未出现裂缝。

(2) 现浇混凝土网架 EPS 板外保温系统

在现浇混凝土网架 EPS 板外保温系统中，通常采用不低于 20mm 厚的掺有少量聚合物的聚合物水



图 6-18 青岛某工程现浇 EPS 板工程对比照片

(a) 未用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平（开裂） (b) 采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平（未开裂）

泥砂浆进行找平和抹面，由于开裂现象较为普遍，因此几乎不敢做涂料饰面，而是采用粘贴面砖做法来遮盖裂缝，这样钢丝网架 EPS 板面层的荷载将增大，进一步加大了不安全性。而采用不低于 20mm 胶粉聚苯颗粒贴砌浆料进行找平，既可大大减少荷载，同时可阻断热桥，起到良好的补充保温作用，又减少了力矩，增加了安全性，同时由于胶粉聚苯颗粒贴砌浆料自身柔性好，不易开裂，能分散和消纳部分应力，可确保整个系统不开裂。

1. 消除热桥

表 6-1 是用聚合物水泥砂浆找平钢丝网架 EPS 板和用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平钢丝网架 EPS 板时的热阻对比试验结果。钢丝网架 EPS 板的斜插丝与 EPS 板面层的钢丝网焊接在一起，并与基层墙体生根，因此，在 EPS 板表面找平层与墙体之间不可避免地会产生很大的热桥，使钢丝网架 EPS 板的实际保温效果下降。中国建筑科学研究院物理所根据三维传热理论研究证实，每根Φ2 钢丝将造成 30~50mm 区域内的局部热桥，钢丝网架 EPS 板的保温效果将下降 50%左右，在物理所进行的热阻测试结果也证实了上述观点。

从表 6-1 可以看出，采用不保温的聚合物水泥砂浆找平钢丝网架 EPS 板时，表面热量可通过斜插钢丝传递，降低了保温材料的保温效果。而采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平时，可有效地阻断斜插钢丝造成的热桥影响，提高墙体的保温效果。

表 6-1 钢丝网架 EPS 板复合不同找平材料时的热工性能

找平材料	聚合物水泥砂浆	胶粉聚苯颗粒保温浆料
基本构造	30mm 水泥砂浆作为墙体+50mm 钢丝网架 EPS 板 (嵌有 50mm×50mm 规格的钢网)+20mm 聚合物水泥砂浆找平层+3mm 抗裂砂浆压耐碱网布	30mm 水泥砂浆作为墙体+50mm 钢丝网架 EPS 板(嵌有 50mm×50mm 规格的钢网)+20mm 胶粉聚苯颗粒贴砌浆料+3mm 抗裂砂浆压耐碱网布
热 阻	0.65(㎡·K)/W	0.94(㎡·K)/W
传热系数	1.25W/(㎡·K)	0.93W/(㎡·K)

2. 提高抗裂性能

用具有很好的柔韧性的胶粉聚苯颗粒贴砌浆料作为钢丝网架 EPS 板外表面的找平层材料，可在一定程度上提高系统的抗裂性能；同时，在胶粉聚苯颗粒贴砌浆料外表面还有抗裂砂浆复合耐碱玻纤网构造进行防裂，耐碱玻纤网与 EPS 板上的钢丝网片形成的双网构造，完全能够消除和抵抗住各个方向存在的各种破坏力，使整个系统具有很好的抗裂性能，可有效防止裂缝的产生。

3. 降低面层荷载

聚合物水泥砂浆与胶粉聚苯颗粒贴砌浆料的干密度相差很大，而其粘结强度差值相对较小，由表 6-1 可以看出胶粉聚苯颗粒贴砌浆料具有更好的抗剪切力。

表 6-2 胶粉聚苯颗粒贴砌浆料及聚合物水泥砂浆的干密度与粘结强度比

材 料	性 能	干密度 (kg/m³)	粘结强度 (MPa)	粘结强度/干密度
胶粉聚苯颗粒贴砌浆料		300	0.12	4.0×10^{-4}
聚合物水泥砂浆		1800	0.4	2.2×10^{-4}
胶粉聚苯颗粒贴砌浆料与聚合物水泥砂浆的粘结强度/干密度的比值				1.82

从力矩的角度来分析，对于北京地区，按实现节能 65% 的要求，采用 20mm 厚聚合物水泥砂浆找平与用 20mm 厚胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平时所需钢丝网架 EPS 板的厚度及找平层通过斜插丝相对基层墙体的力矩见表 6-3。

表 6-3 钢丝网架 EPS 板找平层力矩计算

项 目	胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平	聚合物水泥砂浆找平
EPS 板厚度, mm	75	90
干密度, kg/m³	300	1800
20mm 找平层质量, kg/m²	6	36
力矩, N·m	4.5	32.4

从表 6-3 可以看出，若采用聚合物水泥砂浆找平，所需钢丝网架 EPS 板厚度会比采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平时大，因而力矩增加更加明显，这给整个保温系统的稳定性带来不良影响，若再贴面砖，荷载将更大，所产生的力矩也更大，稳定性将更差。

采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料找平，每平方米荷载将降低 30kg，力矩降低也很明显，可显著提高系统的稳定性，即使粘贴面砖也可确保完全。由于 EPS 板上的钢丝网片对于外部的单向冲击力有一定的抵抗能力，而对于由热胀冷缩、正负风压、干湿循环、地震力等因素所产生的多方向破坏力的作用比较小，若再加一层钢丝网或耐碱玻纤网采取双向配筋的做法，则能显著地消除和抵抗住这种多向存在的破坏力。因此，粘贴面砖时必须在找平层外面再加一层热镀锌电焊网或耐碱玻纤网，并用塑料锚栓锚固将面层荷载传递到基层墙体上。

14.4 酚醛板外保温工程

14.4.1 酚醛板外保温工程质量事故分析

(1) 酚醛板吸水率高

酚醛板的化学组成和孔隙率决定了酚醛板具有较高的吸水率，吸水后的酚醛板干燥后质量降低，粉化降解加速，其压缩强度会变小，粘结性能也会受到影响，并会影响到酚醛板的保温性能。同时，酚醛板吸水后，降解粉化现象也会加剧。用于外保温工程中的酚

醛板由于保护面层开裂后水分进入保温层侵蚀到酚醛板，致使酚醛板发生了降解粉化现象，进一步导致了保护层的大面积脱落，严重影响了工程质量。

(2) 酚醛板强度低

酚醛板强度比较低，易被外力撕裂损坏。采用酚醛板保温装饰一体化工程，装饰板和酚醛板出现了大面积脱落事故，酚醛板也被撕裂损坏。装饰板与酚醛板由于温度变化产生了变形破坏，而酚醛板自身强度低不能保证粘结的可靠性，在构造上存在连通空腔时，受到负风压吸力时就会发生脱落事故；对于粘结力强的地方，酚醛板就会被撕裂破坏。

(3) 酚醛板尺寸稳定差

酚醛板的尺寸稳定性比较差，泊松比较大，其尺寸变化率为 EPS 板的 3.3 倍，泊松比为 EPS 板的 2.4 倍。因此，酚醛板用于外保温工程中在急冷急热的条件下，板材易发生变形，其体积不稳定，累计变形量大，而在未发生塑性变形前，酚醛板的横向变形量比纵向变形量要大得多，这就易造成酚醛板热胀挤压脱落，而面层也易出现开裂现象。由于板材尺寸稳定性差，泊松比大，其各方向尺寸变形过大，造成了板材挤压脱落破坏现象，并导致面层开裂，从而使液态水侵蚀进保温层。

(4) 酚醛板弹性模量大

弹性模量可视为衡量材料产生弹性变形程度的指标，其值越大，材料发生一定弹性变形的应力也越大。酚醛板弹性模量比较大，因而产生的应力也比较大。当酚醛板用于外保温工程中时，若构造不合理，极易因弹性变形应力过大而造成装饰面层起鼓、开裂和脱落，严重时还会引进保温脱落。

(5) 酚醛板弯曲变形小

酚醛板弯曲变形小，脆性高，易碎，柔性较差。因此，其吸收内应力和释放变形的能力均比较差，应用于外墙外保温工程中时，酚醛板易断裂破坏，从而引起保护面层开裂而使外部液态水进入酚醛板，更进一步的导致酚醛板破坏。脱落的抹面胶浆里面的酚醛板断裂严重，形状尺寸大小不一。同时由于酚醛板脆性高，在施工过程中极易被破坏，施工难度大，材料浪费严重。

(6) 酚醛板保温构造存在缺陷

工程中酚醛板如果采用的是纯点粘做法，在酚醛板与基本墙体之间存在着明显的连通空腔，这就给负风压的形成提供了相应的条件。因此，在负风压强大的吸力作用下，酚醛板不可避免地会被从基本墙体上刮掉或被撕裂。在负风压易发生区，这种现象更为明显。由此可见，酚醛板用于外保温工程中，若构造存在缺陷，极易发生质量事故。

(7) 酚醛板质量不合格

酚醛板应用于外保温工程中时，由于其自身存在着许多缺陷，若再不重视酚醛板的质量，使用不过关的酚醛板，在冻融、风力、热应力等的作用下，则极易引起质量事故，酚醛板或其防护面层成片脱落也只是时间问题。

14.4.2 防止质量事故的措施

(1) 设置热应力阻断层

酚醛板的导热系数比较小，而抗裂防护层材料的导热系数比较大，二者之间相差比较大，因而两者之间会产生比较大的热应力差，对抗裂防护层材料的性能要求比较高。只有抗裂防护层材料能够忍受这些热应力差时，才不会出现空鼓、裂缝、脱落等现象。在实际外保温工程应用中，这是很难达到的，若在酚醛板和抗裂防护层之间增加一个过渡层，则可比较容易地解决这个难题。行业标准《胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统材料》JG/T 158—2013 和北京市地方标准《硬泡聚氨酯复合板现抹轻质砂浆外墙外保温工程施工技术规程》DB11/T 1080—2014 中均提出了过渡层做法，目的就是降低相邻材料层之间的热应力差。

以胶粉聚苯颗粒贴砌浆料作为找平过渡层时，计算条件为室内温度为 $t_i=20^{\circ}\text{C}$ ，室外深颜色外饰面表面温度为 $t_e=70^{\circ}\text{C}$ ，外墙表面平均温度为 28°C ，可计算出北方夏季酚醛板表面的温度变化情况。

在酚醛板上抹胶粉聚苯颗粒贴砌浆料过渡层，当墙体外表面为 70°C 时，酚醛板外表面在 1.15h 以后达到最高温度 61.5°C 。由此可见，当抹灰厚度为 20mm 的胶粉聚苯颗粒贴砌

浆料后，表面温度大幅下降，温度应力大幅下降，并将高温发生时间向后延迟 1.15h，较好地缓解了酚醛板热应力的急剧变化，为外墙外保温提供了较好的耐候性能。

(2) 设置水分散构造层

系统构造设计过程中，各层材料均应有一定的水蒸气渗透性，允许气态水排出建筑，平衡建筑墙体的含水率。

在外保温系统中设置一层水分散构造层，能够吸收保温板透气性差产生的少量水蒸气冷凝水，系统内不存在流动的液态水。例如，在酚醛板容易结露侧设置胶粉聚苯颗粒贴砌浆料作为水分散层，系统内部水蒸气向外排放，遇到外界温度较低，而在抗裂防护层内侧冷凝时，具有吸湿、调湿、传湿性能的胶粉聚苯颗粒贴砌浆料层可以吸收产生的少量冷凝水，分散在构造层，避免液态水聚集后产生的三相变化破坏力，提高了系统粘结性能和呼吸功效，从而保证了外墙外保温工程的长期安全性和表观质量长期稳定性。

(3) 设置防水透气层

在外墙外保温系统构造中设置一道高分子弹性底涂层，置于抗裂防护面层之上，在保持水蒸气渗透系数基本不变的前提下，大幅度地将面层材料的表面吸水系数降低，避免了当水渗入建筑物外表面后，冬季结冰时产生的冻胀力对建筑物外表面的损坏；同时保证了面层材料的透气性，避免了墙面被不渗水的材料封闭，从而妨碍墙体排湿，导致水蒸气扩散受阻产生膨胀应力对外保温系统造成破坏。通过合理的外保温构造及材料选择，实现系统具有防水透气功能，从而提高外保温系统的耐冻融、耐候及抗裂能力，延长建筑物保温层使用寿命。

(4) 设置分仓贴砌构造

传统的薄抹灰构造主要采用“点框粘”辅助锚栓的方式将保温板固定于墙面，但由于酚醛板存在各种性能缺陷，仅采用这种方式固定酚醛板，是远远不能满足质量安全要求的。

通过实验室的研究以及试点工程的实际验证，采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料以“满粘+分仓贴砌”的方式固定酚醛板比较合理。“分仓贴砌”是指在酚醛板的四个侧面采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料填充，并采用胶粉聚苯颗粒贴砌浆料粘贴和找平酚醛板，胶粉聚苯颗粒贴砌浆料将对酚醛板六个面形成包裹保护。“满粘”的优点不用多说。“分仓贴砌”的优点在于可消纳因酚醛板的形变对保温系统的影响；将原有大面积的保温系统，划分成仅有酚醛板单位大小的面积（通常尺寸为 600 mm×450 mm），降低了外保温系统整体垮塌的风险；纵向分仓贴砌可防止每一块酚醛板对相邻酚醛板的挤压破坏，并且在火灾发生时，可防止火焰的横向蔓延；横向分仓砌筑相当于在每一层酚醛板之间设置“托架”构造，对酚醛板起到支撑作用，胶粉聚苯颗粒贴砌浆料的剪切强度在 50kPa 以上，在胶粉聚苯颗粒贴砌 EPS 板系统中，10mm 的“分仓贴砌”构造完全满足性能要求，但在酚醛板贴砌系统中，考虑到酚醛板的自重是 EPS 板的 2.5 倍；所以，在该保温系统中，“分仓贴砌”的板缝宽度宜在 20mm 以上较为安全。

(5) 选择质量可靠的酚醛板

选择质量可靠的酚醛板是保证酚醛板外保温工程质量的关键。因此，在外保温工程中，应层层把关，严禁选用劣质酚醛板。

14.5 岩棉板外保温工程

14.5.1 岩棉板外保温工程质量问题案例

图 6-19 中外保温工程采用的是岩棉板薄抹灰外保温做法，岩棉板采用胶粘剂粘贴在基层墙体上，并用锚栓辅助固定岩棉板，但该工程未能经受住外界作用力的影响，一场大风就使 55m 高处的岩棉板脱落坠地，留在墙面上的岩棉板也被撕裂。大风经过时，与基层墙体结合力小的岩棉板就从墙面上飞落（图 6-20），大风过后，岩棉板散落一地（图 6-21）。



图 6-19 岩棉板从外墙上脱落



图 6-20 大风起时岩棉板从外墙上飞落

图 6-22 为沈阳某工程照片，该工程采用的是岩棉板薄抹灰外保温做法，岩棉板面层采用聚合物水泥砂浆抹灰，从照片中可以看出，该工程墙面上裂缝比较明显，部分裂缝还很宽，水分足以通过这些裂缝渗入保温层，严重影响保温效果。

图 6-23 为江苏常州某工程照片，该工程保温层为岩棉板，采用薄抹灰做法，工程刚投入使用就出现了大量裂纹而不得不进行修补，照片中的白色条纹是修补墙体裂缝的涂料，形成了不堪入目的“绷带楼”现象。



图 6-21 大风过后岩棉板散落一地



图 6-22 岩棉板薄抹灰做法面层开裂



图 6-23 岩棉板薄抹灰做法面层开裂严重

14.5.2 岩棉板外保温工程质量问题原因分析

(1) 岩棉板自身缺陷

岩棉板与其他保温板相比，性能相差比较大，其强度低、易剥离分层、吸水率高、憎水性差、易吸湿膨胀，用于外保温工程中存在着一定的缺陷，易引起质量问题。

目前市场上岩棉板主要是采用摆锤法工艺生产的，该工艺可使岩棉纤维部分呈竖向分布，可提高岩棉板的压缩强度和层间结合强度，压缩强度可达到 40kPa，抗剥离强度也可达到 14kPa，垂直板面的抗拉强度可超过 7.5kPa，但要用于外保温工程时，这种强度还远远不够。

岩棉板在自然环境特别是湿热条件下尺寸很不稳定。岩棉板主要由横向分布的纤维丝构成，纤维遇水后吸水分层，变形严重，劣质岩棉板更为明显（图 6-24）。岩棉板纤维与纤维之间存在着连通空气，在热胀冷缩和负风压作用下极易蓬松、鼓胀（图 6-25）。岩棉板应用于外墙工程中时，其面层难以抵御鼓胀的应力变形，上墙后势必造成外饰面效果不佳，并出现鼓包、板缝明显等现象



图 6-24 岩棉板吸水后膨胀变形明显



图 6-25 岩棉板蓬松鼓胀

(2) 风压破坏

由于岩棉板构造疏散，垂直板面方向的抗拉强度低，同时其密度比较大，因此无法直接采用胶粘剂将其粘贴固定在基层墙体上，必须用一定数量的锚栓来固定岩棉板。若岩棉板与基层墙体的结合力不够大，无法满足最大负风压作用时，必然会被刮落。同时，由于岩棉板强度比较低，也易被大风撕裂。

若锚栓直接锚固在岩棉板上，在巨大的负风压力作用下，锚栓仅能保护住锚栓盘所覆盖的部位，岩棉板会直接被拔掉。若锚栓质量不过关，则锚栓也会被破坏，锚栓杆会被拉弯（图；锚栓与基层墙体结合力不够时，锚栓也被直接拔出。

采用钢网配合锚栓来固定岩棉板时，若锚栓数量不够，也无法满足抵抗风压的作用，同样会造成岩棉板连带钢网一起脱落事故。在混凝土剪力墙中钢筋较多，钻头在墙面钻孔时极易碰到螺纹钢受到损坏，锚钉的锚固深度和锚固数量难以保证。

(3) 构造设计不合理

出现面层开裂的岩棉板外保温工程通常采用的是直接在岩棉板外表面做薄抹面层，即抹聚合物水泥砂浆复合耐碱玻纤网来增强抗裂防护效果。但是，由于岩棉板强度低、易吸水、易分层，板材柔软且具有弹性，与聚合物水泥砂浆相比，二者的弹性模量、线膨胀系数等物理指标以及热工性能相差很大，因此，若直接采用水泥砂浆或聚合物水泥砂浆等密度比较大、偏刚性的材料对岩棉板抹面处理，则易使面层发生开裂、起鼓、脱落等不良现象。同时，由于岩棉板面层纤维易断裂脱落，与抹面层材料的结合度很差，也会引起抹面层开裂甚至脱落现象。另外，岩棉吸湿膨胀或受热膨胀也会致抹面层遭到破坏。岩棉板的易吸水性还会导致抹面砂浆中的水分易被岩棉板夺走，造成抹面层快速失水而得不到有效养护而开裂。

14.5.3 解决方案

(1) 完善构造设计

1. 采用合理有效的岩棉板固定措施。由于岩棉板自身强度不大，且岩棉纤维也极易从岩棉板上脱落，而岩棉板质量比较大，因此，仅靠胶粘剂难以将岩棉板牢固地固定在基层墙体上，胶粘剂只能对岩棉板起到临时固定作用，因此，对岩棉板的固定主要靠锚栓的锚固作用，锚栓的数量和锚固力必要满足抗风荷载要求。2. 设置柔性的找平过渡层。在岩棉板外表面直接做抹面层，难以防止开裂现象发生，在岩棉板保温层和抹面层之间增加一层性能介于二者之间的找平过渡层，厚度不宜小于 10mm，则可有效防止裂缝的发生。3. 基本构造。经过合理设计的岩棉板外保温系统基本构造如图 11-6-12 所示，岩棉板采用胶粘剂点框粘或条粘，锚栓锚固在钢网上，锚栓数量应根据风压计算确定。钢网与岩棉板之间设置有垫盘，使钢网不会紧贴在岩棉板上，确保找平过渡层材料与钢网能形成良好的握裹力。4. 耐候性验证。按图 6-26 的基本构造制作耐候性试验墙，饰面层选用 4 种涂料，在经过 80 次热雨循环和 20 次热冷循环的耐候性试验后，试件表面未出现裂纹、空鼓、脱落等破坏。饰面涂层未出现起泡、粉化、剥落等破坏现象，岩棉板内也未发现吸水现象（图 6-27）。

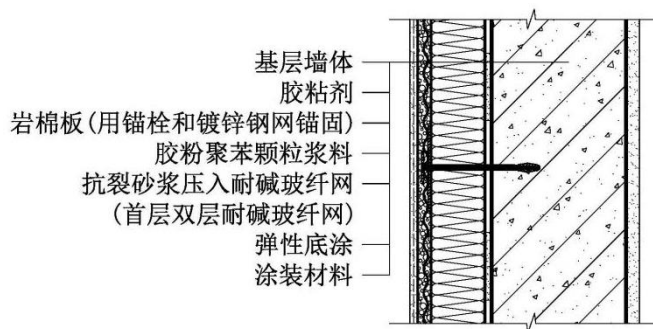


图 6-26 岩棉板外保温系统基本构造



图 6-27 岩棉板外保温系统耐候性验证

(2) 改进岩棉板

在现有的岩棉板生产技术上，难以生产出岩棉纤维垂直于墙面的岩棉板，但我们可以将横丝岩棉板切割成岩棉条，再重新组合成岩棉纤维垂直于墙面的岩棉板，并将板材长度方向上的四个面用砂浆复合玻纤网包裹好，制成增强竖丝岩棉复合板。增强竖丝岩棉复合板改变了岩棉纤维分布方向，提升了板材的抗拉强度和尺寸稳定性；避免了岩棉纤维易脱落问题，并增强了板材的表面强度；同时，改善了板材的吸水性能，解决了岩棉与抹面层争夺水分的问题。

15 参考文献

15.1 文献

- Bailey, P., Brodtkin, D., Hainsworth, J., Morrow, E., Sedgwick, A., Simpson, M. & Simondetti, A. (2008) "The Virtual Building." The Arup Journal 2: 15-25.
- BBSR: (2017): Nachhaltiges Bauen des Bundes: Bonn: Germany
- BMU: (2012): Energiemanagementsystem in der Praxis, ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen: Berlin
- BMUB (2016): Guideline for Sustainable Building, Future-proof Design, Construction and Operation of Buildings
- BPIE: (2016): Driving transformational change in the construction value chain: Brussel
- BRE (2016) Assessing the environmental impacts of construction – understanding European Standards and their implications.
- CEC. 2015. Improving Sustainable building Construction in North America: Guide to Integrated Design and Delivery. Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation
- CEMBUREAU (2016) ; Innovation in the cement industry.
- CIFE. 2007. VDC USE in 2007: Significant value, dramatic growth, and apparent business opportunity. Center for Integrated Facility Engineering Technical Report #TR171.
- Commission for Environmental Cooperation (2015): Guide to Integrated Design and Delivery.
- Constant van Aerschot et al. (2008): Barriers to Greater Energy Efficiency within the Building Industry
- Constructing Excellence (201): Constructing Excellence: The SME' s quick guide to Sustainability. London
- Deutsches Institut für Bautechnik: (2009): Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bau Produkten auf Boden und Grundwasser. Entwurf. Berlin.
- DGNB: (2015): DGNB System, Kriterium, Pro 2.1, Baustelle/Bauprozess
- ECORYS (2014): Resource efficiency in the building sector
- El khoul S. et al. (2014): Nachhaltig konstruieren. Detail
- European Commission (2012), Science for Environment Policy, Could Building Information Modelling support sustainable building practices?
- Eurima: (2012): Environmental Assessment of Construction Works and Products: Brussels
- Karen L. Scrivener, Vanderley M. John, Ellis M. Gartner: (2016): Eco-efficient cements: UNEP
- Manfred Helmus et.al.: (2011): Entwicklung von Energiekonzepten zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf Baustellen: Wuppertal: Germany
- McGraw-Hill Construction (2010): Smart Market Report: Green BIM, How Building Information Modelling is Contributing to Green Design and Construction
- McGraw-Hill Construction (2014): Smart Market Report: Green BIM, The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets
- Sheth A.Z., Malasane S.M. (2014): Building information modelling, a tool for green environment
- Schaudt Architekten: Haus Sobek
- Schweizerische Eidgenossenschaft Bundesamt für Umwelt BafU: (2008): Für einen wirksamen Bodenschutz im Hochbau – Tipps und Richtlinien für die Planung.
- UN Habitat: (2017): Building sustainability assessment and benchmarking
- UNEP (2014) Sustainable Buildings and Climate Initiative: Greening the Building Supply Chain,

UNEP (2016); Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low Co2, cement base materials industry.

WGBC (2011): The Business Case for Sustainable buildings, World Sustainable building Council

World Green Building Council: (2013): The business case for green buildings

World Economic Forum: (2016): Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology

15.2 标准

2000/14/EG. Richtlinie über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen Outdoor-Richtlinie. Europäisches Parlament und der Rat vom 8.Mai 2000

BBodSchV – Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, January 2010

Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der Juris GmbH: (2007): Bundes-Immissionsschutzgesetzes. § 27 Emissionserklärung

CEN /TC 350 - Sustainability of construction works

CEN/TR 15941:2010 - Methodology for selection and use of generic data

CEN/TR 17005:2016 - Background information and possibilities

CEN/TR 16970:2016 - Guidance for the implementation of EN 15804

DIN EN ISO 14001. Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Berlin. Beuth Verlag, November 2009

European Environmental Management System (EMAS)

EN 15643-1:2010 - General framework

EN 15643-2:2011 - Framework for the assessment of environmental performance

EN 15643-3:2012 - Framework for the assessment of social performance

EN 15643-4:2012 - Framework for the assessment of economic performance

EN 15804:2012+A1:2013 - Core rules for the product category of construction products

EN 15942:2011 - Communication format business-to-business

EN 15978:2011 - Calculation method

EN 16309:2014+A1:2014 - Calculation methodology

EN 16627:2015 - Calculation methods

Gefahrenstoffverordnung (GedStoffV). Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der Juris GmbH. November 2010

Gesetz zu Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). February 2012

ISO/TC 59/SC 17 - Sustainability in buildings and civil engineering works

ISO 14001 - Environmental Management

ISO 15392 - Sustainability in building construction -- General principles

ISO 21929-1:2011 - Sustainability in building construction - Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings

ISO 21930:2007 - Sustainability in building construction -- Environmental declaration of building products

ISO 21931-1:2010 - Sustainability in building construction - framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works

ISO 50001 - Energy Management Standard

ISO/TS 12720:2014 - Sustainability in buildings and civil engineering works

RAL und Umweltbundesamt.(2011): RAL-ZU 53. Grundlage für Umweltzeichenvergabe. Lärm-arme Baumaschinen.

Richtlinie für die Konkretisierung immissionsschutzrechtlicher Betreiberpflichten zur Vermeidung und Verminderung von Staub-Emissionen durch Bautätigkeit. Der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr. Juli 2005

Techn. Regeln für Gefahrstoffe (TRGS). Ausschuss für Gefahrstoff. Dezember 2006

Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz). Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der Juris GmbH. May 1993

Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen.

Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen. Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der Juris GmbH. July 2007

15.3 网页

<http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/abfallpolitik/kreislaufwirtschaft/>

<http://www.offensive-gutes-bauen.de/check-gutes-bauen/daten/mittelstand/auswahl2.htm>

https://www.foraus.de/tools/energetisches_bauen_und_sanieren/start.html

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/bauprodukte/eu-recht-fuer-bauprodukte/eu-bauproduktenverordnung>

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/entsorgung-verwertung-ausgewahlter-abfallarten/bauabfaelle#textpart-1>

http://portailgroupe.afnor.fr/public_espacenormalisation/centc350/index.html

<http://www.laparks.org/sites/default/files/forest/pdf/ProtectTrees.pdf>

<http://www.laparks.org/sites/default/files/forest/pdf/ProtectTrees.pdf>

<https://bct.eco.umass.edu/publications/articles/preserving-trees-during-construction/>

<http://www.baustoffrecycling-bayern.de/node/309>