



章明

同济大学建筑与城市规划学院教授、博士生导师、建筑系副主任，同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司原作设计工作室主持建筑师。

袁汉泽

同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生。

POLISHED CONCRETE FLOORING

混凝土抛光地坪

摘要 介绍混凝土抛光工艺的历史、基本概念及分类，着重阐述混凝土抛光地坪的艺术性及主要的施工步骤，并分析混凝土抛光工艺在美国海军航空基地、新西兰罗托鲁瓦能源活动中心和同济大学建筑设计研究院原作设计工作室中的应用。

关键词 混凝土抛光 艺术性 施工工艺

1824年，英格兰的阿斯普丁（Joseph Aspdin）发明了“开拓者”水泥，到今天水泥仍位居建筑三大基材之首。从以建筑大师安藤忠雄为代表的清水混凝土建筑，到2014米兰设计周上的混凝土家具，几百年来随着科技的进步，混凝土适用领域也越来越广泛，表现形态也越来越多样，这也给混凝土抛光工艺带来了巨大的发展机遇。

20世纪末，用水磨方法对花岗岩和大理石进行抛光的工艺已经日趋成熟，但将水磨方法应用于混凝土抛光的处理才刚刚起步。1998年，在突尼斯，一个通常承接天然石材抛光工作的承建商应皇室要求，需要对围绕宫殿的混凝土进行抛光。承建商聘请了新的工人进行施工，然而当他回来检查项目进度时，却发现工人在使用干磨而非通常的水磨方式对混凝土进行抛光。他立刻制止了工人的打磨，但随后惊奇地发现，干磨混凝土抛光的效果并不逊于水磨。从此，干磨混凝土抛光的工艺才被人们发现和利用。

真正意义上的第一块机械抛光混凝土地坪出现在1999年美国拉斯维加斯的Bellagio库房，面积达到40 000平方英尺。从那以后，抛光混凝土地坪凭借其独特的装饰效果和自然朴实的风格，以及其本身所具备的混凝土良好的物理和化学性能及无污染的特质，在世界各地的装饰性地坪和工业地坪场合得到了越来越多的应用。

1 混凝土抛光的基本概念及地坪分类

抛光混凝土，是指混凝土通过研磨工具逐步打磨并经与化学硬化剂共同作用后所形成的混凝土表面。施工者使用化学硬化剂渗透自然浇筑的混凝土，使其表面强度和致密度得到强化，并通过机械打磨和抛光提高其平整度和反光度，从而使混凝土地坪兼备使用性能和特殊的装饰效果。



阿斯普丁（Joseph Aspdin）发明“开拓者”水泥



拉斯维加斯的Bellagio库房抛光混凝土地坪



打磨露出的骨料突显混凝土的自然之美

各色水泥与特产石材骨料的多样搭配

镶嵌在混凝土中的海螺被打磨后露出的断面极具艺术性



施工步骤：研磨—修补—固化—抛光

近年来，染色剂和染料也被广泛应用于混凝土抛光工艺中，用来增强其美观性。在混凝土浇筑过程中，可以预先根据设计需要添加不同级配和颜色的骨料，最后通过机械方法研磨露出骨料而进一步增加其装饰性。除此之外，还引入切割工艺，如辐射线、网格线、辐射带、边角处理等，在有效防止地坪产生裂缝的同时增强了地面的设计感。

抛光混凝土是一种可持续的地坪选择。它可以利用现有的材料及资源，直接对既有的混凝土楼地面进行修复并打磨和硬化处理，这样能够有效减少能源及材料的损耗，不失为一种环保的地坪解决方案。

按照抛光地坪的光泽度，抛光混凝土地坪可以分为：工业级、商业级、顶级地坪三类。

（1）工业级地坪，是低光泽度定制抛光。该类型主要针对的是大面积的仓库、超市和百货公司等室内地坪，其特点是生命周期内成本最小，能承受最恶劣的使用环境。地坪防滑，防渗漏，耐磨损、耐油、耐灰尘，易于清洁。

（2）商业级地坪，是指对半露出和低露出骨料地坪进行中等光泽的抛光。此地坪针对的是零售业的室内公共区域，其特点是容易清洁和保养，耐磨损，防渗漏，防滑。

（3）顶级地坪，是对露出骨料的地面进行高光泽度装饰性抛光。此地坪可用于博物馆、展览馆、高档房产和其他需要强化地面平整度和反射率的地坪，其特点是反射性和装饰性好，地面平整度极佳，同时具有极高的质量，且非常耐用，易于清洁。

2 混凝土抛光艺术性

混凝土抛光地坪的优势除易清洁、低维护成本、长使用寿命之外，它相对较高的耐磨系数使得其非常适用于高人流量的公共场合。混凝土抛光还能够减少过敏源，抑制霉菌的生长。此外，通过实践证明，高反光度的混凝土抛光地坪能够提高自然光亮，对减少照明能耗有一定的作用。世界LEED组织在2009年指导标准中积极介绍了抛光混凝土的优势，明确采用混凝土抛光地坪能够为建筑获得LEED认证加分。

混凝土抛光工艺经研磨去除混凝土表层后，往往更能表现混凝土的自然本色。预混色水泥和特定或特产的石材骨料（如卵石、花岗岩、黑色玄武岩或矿石、废石等）混合出的混凝土，再经过超精细抛光处理，能呈现出更多的花色效果。在面层浇筑完成阶段，将装饰性骨料如贝壳、海螺、玻璃碎片甚至金属汽车零部件等嵌入其中，抛光后的效果极具艺术特质，有助于实现设计师的各种创意。

3 抛光工艺

混凝土抛光工艺前期包括研磨（粗磨）、修补、固化、抛光（精磨）四个步骤，一般还需要根据实际情况进一步调整使用的工具和步骤，来达到最终的设计效果。国外领先的超精细抛光系统还包括“表层抗渗防污保护工序”，运用混凝土专用保护剂（食品安全级别）后有效防护可达15年以上，期间仅需用干布或专用清洁垫进行擦拭，相对于像石材、瓷砖等地板需要经常使用洗涤剂、蜡水等加以保养而言，混凝土抛光地坪维护成本低廉且环保。

（1）研磨（粗磨）是指使用金属金刚石工具进行打磨，可以清除地面上的细微麻点、瑕疵、着色剂或其

他薄涂层（如环氧涂层、自流平水泥、PVC塑胶地面等），为后续的抛光工序做准备。根据不同的混凝土地面状况，研磨工序通常可分三到四个步骤进行。

（2）修补是指使用修补剂将混凝土中的气泡痕迹、龟裂、细微的凹穴填平。

（3）固化是指在混凝土表面涂抹固化剂硬化混凝土的过程。固化剂不仅可以渗透到混凝土的细小缝隙中，将毛细孔紧密堵塞，还可以大大提高混凝土的强度，使其更加坚固耐用，从而极大减少地坪后期维护的工作量。

（4）抛光（精磨）是指施工人员使用树脂磨片（一种树脂金刚石工具）对地面进行打磨，直到地面呈现出预期的光泽度为止，可分为三至五个步骤。根据地面情况及光泽度要求，最高可使用目数为3 000目的树脂磨片。不同目数的树脂磨片可以使表面呈现素雅、纯粹的哑光感，抑或高反光度的光泽感。

混凝土地坪尽管可以采用湿磨或干磨的方法进行抛光，但由于干法抛光速度更快、操作更简单、更环保，因此干法抛光是目前工业领域最常用的抛光方法之一。湿法抛光需要用水来冷却金刚砂打磨机和清除机器上的研磨屑。由于水像润滑剂一样可以减小摩擦力，因此它可以延长抛光机的使用寿命。但湿法抛光的最大缺点是产生大量的泥浆。干法抛光则不需要使用水，而且干法抛光使用的地坪抛光机上安装有集尘装置，可以有效地吸收粉尘颗粒。国外先进的吸尘设备通常具有三级过滤装备和脉冲反吹装置，能过滤掉99.9%1微米（PM1）以上的粉尘，收集到的粉尘可用于制砖厂制砖或搅拌站替代粉煤灰用于混凝土的生产。

4 混凝土抛光地坪案例介绍

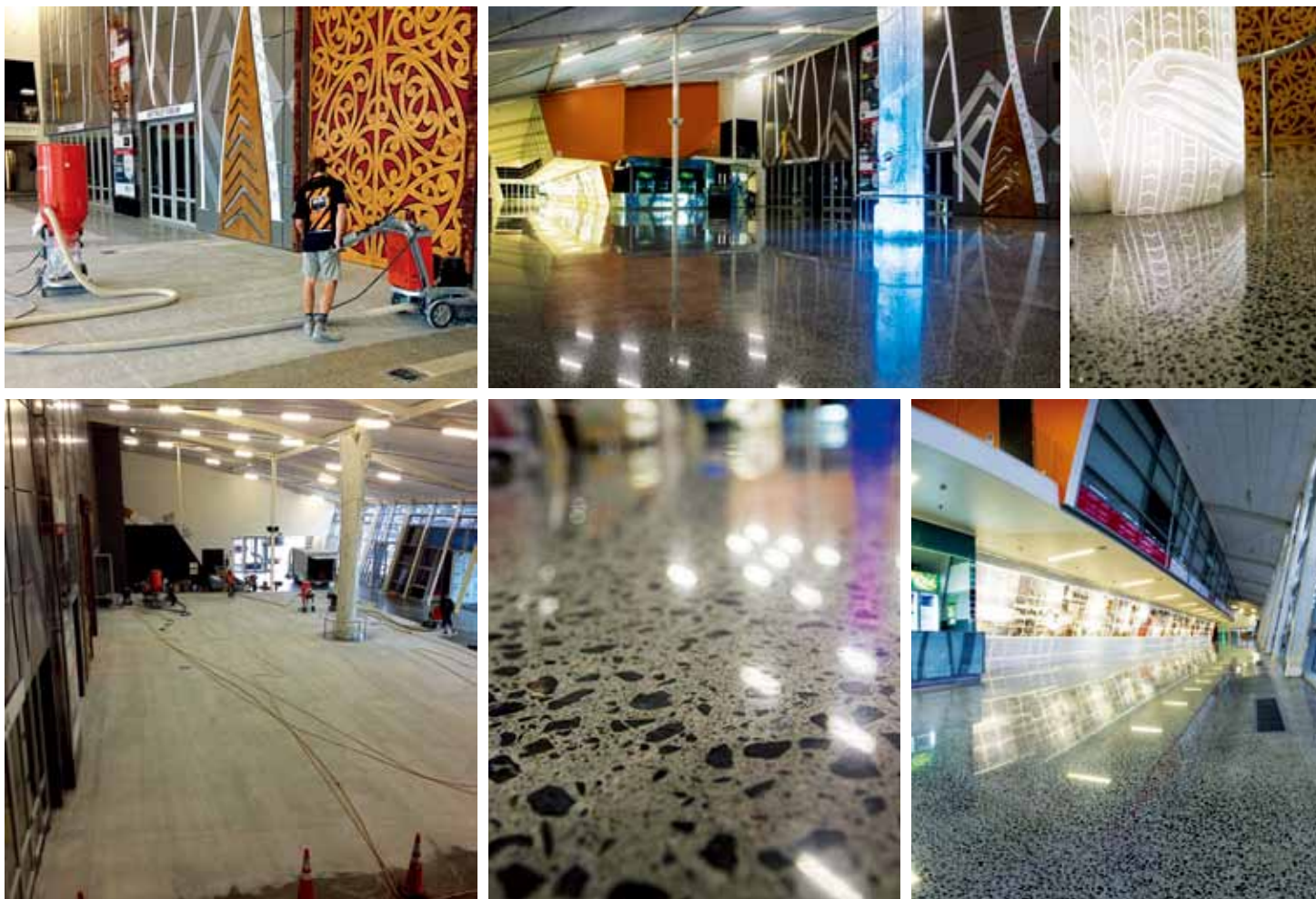
按照原有地坪的种类，混凝土抛光地坪可分为：新浇筑地坪及旧翻新地坪两大类。

（1）新浇筑地坪，又称混凝土直磨技术，是指在混凝土地面浇筑过程中加入混凝土密封固化剂，化学反应生成永久性凝胶，再通过机器直磨得到一个防尘、致密的整体。新浇筑地坪使用混凝土抛光工艺能够有效降低成本。在新浇筑地坪中，施工者需要控制好混凝土的早期浇筑，包括骨料的种类和粒径的选择，控制骨料的级配与平整度，且浇筑时要避免踩踏，以免形成骨料的不均匀下沉，从而保证高质量面层的完成，使混凝土抛光地坪达到最佳的效果。

（2）旧翻新地坪，在原有的地坪上使用混凝土抛光进行改造。原有混凝土中的沙砾和天然骨料经打磨抛光后会逐渐呈现，进而焕发出温润的光泽。



美国海军航空基地超精细抛光混凝土地坪



罗托鲁瓦能源活动中心混凝土地坪研磨抛光过程

罗托鲁瓦能源活动中心混凝土地坪抛光后效果

4.1 美国海军航空基地：新浇筑地坪、顶级地坪

先进的抛光工艺能够利用研磨机的特殊结构和特殊修补材料，在金刚石磨片研磨混凝土表面过程中，自动高压填充、修复混凝土表面的自然缺陷（如龟裂纹、砂眼、气孔等），从而能够使最终完成面具有媲美石材和玻化砖的细腻与光亮。利用这一技术，建筑物楼地面功能装饰一体化得以实现，成为更加质朴和环保的楼地坪解决方案。

位于加州科罗拉多的美国海军航空基地是按照美国绿色建筑委员会的LEED黄金级标准来打造的。建筑最终能够减少30%的能源损耗。基地内用于年轻单身者休闲放松的大厅地坪采用了超精细抛光混凝土工艺。这种地坪不但契合了建筑现代、简洁、大方的风格，易于清洁保养，同时在保证地坪持久性的同时，还有效降低了成本。由于抛光地坪不需要养护期，所以能够按规定工期完成施工。在混凝土浇筑阶段，设计师选用了特殊的骨料（灰色、黑色、白色三色石子）作为最终的装饰。

4.2 新西兰罗托鲁瓦能源活动中心：旧翻新地坪、顶级地坪

对既有混凝土地坪进行改造简单易行，当素混凝土地面（骨料耐磨地坪）或覆盖有环氧、塑胶等材料的地面出现破损需要翻新时，可以利用混凝土抛光工艺对其实施干式无尘施工、减法式作业（不叠加任何材料和涂层），最后形成完成面坚硬耐磨、维护成本低廉的地坪。

位于新西兰罗托鲁瓦湖边上的罗托鲁瓦能源活动中心是一处城市的综合活动中心。这幢现代的建筑总面积达8 255m²，分为10个独立会议室。作为城市的标志性建筑物之一，政府每年会花费一定的资金对其进行整修，然而在经过了4年的使用后，原地坪（加了防滑颗粒的环氧涂层）情况仍不容乐观。地坪表面的损坏极大影响了建筑的整体美感，同时每年大笔的保养费用也增加了政府的财政支出。政府希望保留原有的混凝土地面，提高地坪的耐用性，延长生命周期，并且减小保养费用。在进行公开招标后，混凝土抛光顶级地坪被应用于地面的改造设计中。该项目总面积约为2 000m²，但地面的改造施工（包括伸缩缝的填补和修复）却仅用了7天。罗托鲁瓦区政府称赞该项目远超预期想象，地坪的改造设计有效提高了能源活动中心的实用性和自身价值。该地坪改造设计还在今年获得最佳翻新工程奖项。



原作设计工作室庭院中的地坪

4.3 同济大学建筑设计研究院原作设计工作室：新浇筑地坪

同济大学建筑设计研究院原作设计工作室前身是上海鞋钉厂老厂房。在改造设计中所有室内外地坪均采用混凝土直磨技术，但根据不同的使用需求调整了打磨次数。例如，庭院中的地坪只需100目，去除浮浆层，微微露出细石子，保持质朴的混凝土毛面肌理，与青砖院墙的古旧感相匹配。工作区地坪则需400目，保持中等光滑度的混凝土哑光面肌理，便于清洁又不易打滑。多功能区地坪则需1 500目，达到高光泽度的混凝土镜面肌理效果。



原作设计工作室工作区混凝土地坪浇筑和抛光过程

原作设计工作室工作区地坪哑光面肌理效果



原作设计工作室多功能区地坪浇筑和抛光过程

原作设计工作室多功能区地坪镜面肌理效果



彩色抛光混凝土中的创意运用



原作设计工作室抛光混凝土在家具上的应用



与混凝土桌面一同打磨的黑色亚克力字体

5 结语

在建筑行业，抛光混凝土技术的应用不仅仅适用于地坪，其独特的创意装饰效果在其他方面也有较广泛的应用。

近年来，彩色抛光混凝土的兴起给抛光混凝土地坪的利用提供了更多可选择的机会。事实上，抛光混凝土已经是混凝土染色发展的又一个动力。与着色剂相比，颗粒尺寸较小而且溶解性更好的染色剂渗透性能更好，染色效果更强烈，而且在色彩表现上更鲜活生动。染色的另一个优点是，很多染色剂可以漂浮在酒精或丙酮表面，这种溶剂和水相比，表面张力系数较低，可以更深入地渗透进混凝土层中，而且干化更快。因此在合适的情况下，染色是打造出彩色抛光混凝土的最佳方法。利用不同材料在混凝土抛光中的嵌入，表现出特有的图案和标识，也成为抛光混凝土应用的新亮点。

自1992年瑞典诞生了世界上第一台混凝土地坪抛光设备以来，混凝土抛光在欧美等国家飞速普及。特别是2003年引进美国市场后，这一创新为美国建筑师、设计师、建筑商和设备制造商都带来机会和未来。如今，美国正成为世界上混凝土抛光和染色地坪的领导者，并且其市场份额仍在快速增长中。

在中国，真正意义上的混凝土超精细抛光才刚刚起步，随着国外先进打磨设备和工艺的引入，国家绿色节能建筑标准规范与国际标准的接轨，国内优秀企业的跟进和创新，以及设计师对混凝土抛光的了解，混凝土超精细抛光一定能在中国得到快速发展。AT