瑞士图尔河再自然化的理念与措施

Re-naturalizing the Thur River: Theories and Measures

刘明欣 王世福 谢纯
Liu Mingxin, Wang Shifu, Xie Chun

摘要: 本文回顾人类“用水”和“治水”导致河流空间逐渐萎缩与形变,以及河流自然系统加速恶化等问题,以瑞士苏黎世州图尔河河口防洪及河漫滩修复项目为具体案例,通过解析项目目标和措施,回顾其防洪治水理念的革新历程,提取与自然修复保持高度一致性的现代防洪措施的具体方法及要点,以期为我国防洪治理和自然修复实践提供有益的参考。

Abstract: The problem of shrinking and deformation of river channel and accelerated deterioration of river natural system caused by the usage and management of water resources have been reviewed retrospectively. The flood control in estuary and river-floodplain recovery project of Thur River in Switzerland is analyzed as an actual study case. By reviewing project objections and measures, the paper first analyzes the evolution of flood control concepts, then extracts the essences of modern flood control methods which are highly in alignment with flood control and nature recovery in order to provide beneficial references to China's flood control and natural recovery practices.

关键词: 防洪; 自然修复; 河漫滩; 图尔河; 再自然化

Keywords: Flood Control; Nature Restoration; Floodplain; Thur River; Re-naturalizing

国家自然科学基金委员会青年科学基金项目
(51308220, 51308221); 广东省科技计划项目
(2016A040403041); 广州市哲学社会科学项目
(2016GZZK32) 共同资助

作者: 刘明欣, 华南理工大学建筑学院, 讲师, 博士研究生
王世福, 博士, 华南理工大学建筑学院, 亚热带建筑科学国家重点实验室, 教授, 博士生导师
谢纯, 硕士, 华南理工大学建筑学院, 亚热带建筑科学国家重点实验室, 副教授, 硕士生导师

引言

自古以来,人类聚居地与河流的兴衰唇齿相依。伴随近代人类社会的高速发展,“用水”和“治水”工程简单地迎合“以人类为中心”的目的,拦河筑坝、河道裁弯取直、开发河滩、围湖造田、防洪建堤等工程在为人类生产和生活提供支撑的同时,破坏了河流的自然形态和水生生境的复杂度,使得生态水文过程的可持续性遭到破坏,造成河道淤积、自净能力下降、水质污染加剧、生物多样性衰减及河流生态系统服务功能衰退等问题^[1-3]。1930年代,欧美一些国家已认识到河流生态环境面临的诸多问题,并积极开展相关的生态修复研究和实践^[4-7]。1938年,德国景观设计师塞弗特(Seifert)首先提出了“近自然河流整治”的概念,并以此建构了一套在完成传统河流治理任务的基础上,接近自然、低成本并保持景观美的治理方案^[8],标志着人类对河流实施生态修复的开端;1965年,德国景观设计师恩斯特·比特曼(Ernst Bittmann)在莱茵河用芦苇和柳树进行生态护岸试验,被看作最早的河流生态修复实践^[9];1970年代末瑞士苏黎世州河川保护建设局以生态护岸做法为基础,拓展了“多自然型河道生态修复技术”^[10];1980年代德瑞两国共同提出“河流再自然化”的概念,将河流修复提升至接近自然的程度^[11]。这些研究和实践为后续世界各地人工化河道的生态修复提供了技术来源和实证基础。

在全球气候变迁和生态系统退化的背景下,欧盟颁布的《欧洲水框架指令》中明确指出在流域下游河段实施防洪保护的同时需要不断改善生态系统和水质^[12],瑞士则通过立法要求各州在实施流域防洪措施的同时必须推进流域内的生态修复^[13]。1979—2012年间瑞士共执行了848个河流生态修复项目,总计修复的河流长度为307 km^[14],在此过程中积累了大量的规划、实施、管理、维护以及评价经验。图尔河(Thur River)流域的防洪及生态修复工作经过多年的经营,在瑞士国内被公认为同类型项目的先锋^[15]。鉴于目前我国众多流域工程生态治理缺少可参照的案例,本文选取图尔河河口防洪及漫滩修复项目为研究对象,通过剖析项目背景、规划理念、实施措施和实施效果,为国内防洪治理和生态修复实践提供参考。

1 图尔河概况及其变迁

图尔河全长 131 km，集水面积 1 750 km²，是瑞士东北部的的主要河流，发源于圣加仑州东南部的森蒂斯峰，途经具有丰富人文和自然景观的地区，最终在瑞德边境汇入莱茵河（图 1）。由于河流沿线缺少调蓄湖区，导致剧烈的季节性流量差异（流量最小值为 2.2 m³/s，流量最大值为 1 130 m³/s，平均流量为 47 m³/s）^[15]，与莱茵河交汇处更形成瑞士中部最大的洪泛区，面积接近 400 km²。历史上这一河段曾经蜿蜒曲折（图 2），沿岸栖息着多样的生物群落。

瑞士境内约有一半国土海拔高度超过 1 000 m，约四分之一的国土海拔高度超过 2 000 m，约三分之一的国土面积内的降水由雪融而来。每年雪融期深度融雪和强降雨容易引起洪灾，成为瑞士最常见的自然灾害之一^[16]。19 世纪初，图尔河及下游的莱茵河沿线的大面积洪泛平原被开发

利用，洪水问题日渐激化。1860 年图尔河从安德尔芬根市（Andelfingen）到莱茵河之间 5 km 长的河道（即本文所述的河段）被人工拉直并修筑防洪堤（图 3），这一工程旨在让洪水迅速通向下游，确保沿岸定居点和耕地的安全。但由于上游水道也被人工引导，使得水量不断增大，故在图尔山谷修建水坝和人工水道的做法并未能阻止洪水入侵。1978 年 8 月的特大洪水灾害中，图尔河沿岸的弗劳恩费尔德镇（Frauenfeld）段发生决堤，致使弗劳恩费尔德镇和古提格豪森镇（Gütighausen）之间的广阔平原地区被淹没。为应对频繁的洪灾，州政府先后在 1980 年和 1983 年提出两项防洪方案，但都因遭到来自社会各界的强大阻力而无法开展。其中 1980 年的方案被环保组织批评过于依赖工程技术手段，1983 年的方案则由于过分强调自然保护的意愿而遭到周边社区的反对^[17,18]。

图 1 图尔河的地理位置（红圈为本项目所在地）

资料来源：参考文献 [13]

图 2 1840 年的图尔河河口区域

资料来源：参考文献 [13]

图 3 图尔河河口的过去、现在和未来

资料来源：作者自绘

2 防洪治水观念的革新与项目概况

2.1 防洪治水观念的革新

图尔河流域早期的防洪治水观念过于依赖水利和工程技术,通过改弯取直、防洪建堤和拦河筑坝等措施使洪水快速通向下游,导致河道沿岸的湿地消失,大批生物被迫迁徙或灭绝。流域内土地利用方式的转变及水利等基础设施的建设,使天然洪泛区域不断减少,洪水最高水位和时段洪峰流量一涨再涨,矛盾不断激化。频发的洪水使人们认识到原有的防洪手段并不能为地区安全提供足够的保障,潜在的洪灾预期损失普遍增大。1980年代起,伴随理论和技术的革新,苏黎世州意识到治洪的方法需从局部河段的洪水防范转变为对整体流域的综合治理,通过动态化、自然化和多元化的综合管理方法最大程度地利用水体动态和自然过程,逐渐加强并恢复整个流域的水体和生态安全^[19]。1983年起,州政府分阶段推进图尔河全流域的防洪与自然修复工作,致力于使河流沿线的水安全维持在更高级别,并着力提升河段生态质量;项目前后持续约20年,但不包括图尔河末端的5 km河段。

2.2 图尔河河口防洪及河漫滩修复项目概况

在全流域防洪与自然修复工作的最后阶段,由苏黎世州政府牵头,州建设局景观与自然办公室(ALN: Amt für Landschaft und Natur)和废弃物、水、能源及空气办公室

(AWEL: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 项目的总负责单位)授权的项目领导小组具体负责筹备和实施工作。项目自1998年起筹备,经历战略规划、初步调查、项目规划、执行施工和投入使用五个步骤(图4),2008年启动的施工期历时12年,分为两个阶段,涉及图尔河末端5 km河段约470 hm²的国家级河漫滩保护区(表1)。以实施主动综合管理为治理主旨,项目具有多重目标:保护河口及周边区域免受洪水泛滥的影响,为珍稀动植物提供新的栖息地,改善弗拉赫农业区的生产条件,使漫滩湿地重新成为人们的游憩区。项目组聘请来自林业、农业、土壤保护、旅游等相关领域的工程师和科学家提供技术支持,而项目附属监督委员会则负责监督并提供建议(图5)。由于涉及土地所有权和土地征用及融资等重要问题,项目组通过多方磋商以协调各方利益。根据2006年苏黎世州通过的无反对票决议,项目的总成本预算为5 360万瑞士法郎,其中苏黎世州、联邦政府和埃格利绍-格拉特费尔登发电厂股份有限公司(KWE: Kraftwerk Eglisau-Glattfelden AG)分别投入2 600万、1 800万和900万瑞士法郎(图6)。

3 项目理念及具体措施

该项目以创造更安全、更自然和能容纳更丰富休闲活动的图尔河为主旨,让河道重新恢复蜿蜒。在充分认识到洪水周期性泛滥这一不可避免的特征后,项目组力求协调防洪、自然修复和人们休闲活动的需求,并确立项目的三个主要理念:一是修复河流的自然水文过程,最大化地利用水体动态和自然过程;二是弹性设计,通过刚柔并济的措施协调防洪、自然修复;三是强调动态监管和功能复合。

3.1 增强防洪与自然修复相结合

项目将自然保护视为防洪规划的重要环节,明确摒弃渠化河道的传统做法,通过长期监测和研究,掌握流域水文过

图4 河流生态修复项目的规划和实施流程

资料来源：参考文献[11]

图5 图尔河河口和漫滩修复项目的组织架构

资料来源：参考文献[17]

程，并将该河段的防洪策略置于整个流域防洪规划的大框架中，通过改善河道内的行洪能力、提高洪泛区的涵水量实施防洪，并开展河口段的自然修复。据此理念，项目组综合分析了历史上图尔河的河流形态、水文、地质等资料，并基于河道水力学特性和地貌学特点推演理论模型，获得河口区修复的“意向景象”（图 3），图尔河在实施岸线“释放”后将恢复自然蜿蜒的状态，其中：（1）在埃利科桥以西的两河交汇处将产生淤积并逐渐恢复以前的自然形状，由于两河交汇处河岸尖细，形成的阻力较低，过去的多支流三角洲景象将会再次出现^[20,21]；（2）在埃利科桥以东，由于东端埃格兰克

河段正处于河流从南北向转向东西向的急拐弯处，而河流南岸紧邻州立公路，此段岸线仍需通过工程措施加以稳固，因此急转的水流将集中冲刷埃格兰克以西的河岸北侧，而此处河道岸线释放后侧向侵蚀不断加强，河道将由此向西动态蜿蜒；（3）随着季节性洪流的入侵，河流两岸将形成一系列由坑塘、洼地和河漫滩组成的湿地生境，这些区域既可蓄洪又可提供多样化的栖息地。通过方案比较选择具体措施，最终确定通过增强防洪、岸线释放和塑形、营建河漫滩系统等具体做法实现“意向景象”（图 7）。

图 6 图尔河河口和漫滩修复项目的资金配比
资料来源：参考文献 [19]

3.1.1 以增强防洪能力为治理基础

项目首要任务是提升周边居民点和农业区的防洪能力，为岸线分段释放奠基。由于过去洪涝灾害多发于两河交汇处，项目选取埃利科桥以西的河段作为第一阶段的主要施工范围，包括以下几方面。（1）增高防洪堤：通过改造弗拉赫农业区与莱茵河之间的防洪堤，提升原有防洪堤的高度。（2）防洪堤移位：考虑到河口洪泛区的扩展，弗拉赫农业区与图尔河之间的区域将成为漫滩森林，因而防洪堤被南移至弗拉赫农业区的北缘，其防洪标高与莱茵河沿线的防洪标高一致；同理，图尔河北岸的防洪堤也被北移至埃利科农业区（Ellikerfeld）的南缘。（3）增设移动式防洪墙和水泵系统：

表 1 图尔河河口和漫滩修复项目实施进程

	事项	实施措施	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
第一阶段	防洪措施	强化埃利孔镇（Ellikon）的防洪措施	<div></div>												
		强化弗拉赫农业区（Flaacherfeld）的防洪措施	<div></div>												
	生态修复措施	主要移除两河交汇处至埃格兰克（Eggrank）桥之间的固定式堤防	<div></div>												
		引入图尔河河口区原有的物种	<div></div>												
	农业改良措施	弗拉赫农业区农地填土	<div></div>												
第二阶段	防洪措施	埃格兰克河段的自然修复													
		埃利科（Elliker）桥堤岸区域的平整	<div></div>												
		奈古特（Neugrüt）和安吉海里（Engihäuli）农业区的开口、通道及防洪设施	<div></div>												
	农业改良措施	弗拉赫农业区农地填土													
	生态修复措施	主要移除埃利科桥至埃格兰克段固定式堤防													
		瓦内马哈（Wannenmacher）的启动区施工	<div></div>												
		应森（Inslén）和普鲁士（Präusselen）等区域的生态升级工程													
		费尔森（Felsen）和格里斯（Untergriess）草坪改造工程	<div></div>												
娱乐设施的建设		<div></div>													
监测项目		<div></div>													
森林保护项目		<div></div>													
新引入的植物的管理		<div></div>													

资料来源：参考文献 [17-19]

为保持埃利科镇沿莱茵河段的亲水性并保障洪水期的防洪安全，增设移动式防洪墙和水泵系统，配合雪融监测、洪水预测移动式防洪墙和水泵的适时应用；在弗拉赫农业区增设新的水泵站，确保在地下水位上升时能够及时调节；更换地区内老化的排水管网，确保居住点的快速疏水。在项目实施的第二阶段，加固和增高安吉海和奈古特农业区域的防洪堤，改善农业区的防洪能力。

3.1.2 岸线“释放”与塑形

2008年项目启动岸线的开挖工作。根据河口区修复的“意向景象”和河流形态分析，第一阶段选取埃利科桥以西的河

流南岸和埃利科桥以东的河流北岸进行开挖（即启动区，具体位置见图7），引导S型曲流的形成，加速两河交汇处的冲刷力，具体措施包括：（1）人工移除长达3.5 km的固定式堤防，包括埃利科桥以西河流两岸以及埃利科桥以东520~1430 m处的北岸；（2）在距离两河交汇处约490 m和1600 m两处位置向东，沿河岸半月形区域挖掘约12万m³的土方，其中部分土方置于河对岸，形成弯曲的河道（曲流）；（3）通过开挖恢复河流的自然河床。上述措施使河道得到部分舒展，将加速河道蜿蜒的自然演变，河流自身动态的水文过程将逐渐削弱堤岸，当河岸侵蚀到达预设的控制线时，项目组将进行现场评估以确定进一步的工程控制措施（图8、图9）。

图7 图尔河河口和漫滩修复项目实施措施的分布

资料来源：根据参考文献[17-19]自绘，底图来自 Google

图8 图尔河河口和漫滩修复项目河道控制与形态模拟

资料来源：根据参考文献[17-19]自绘，底图来自 Google

第二阶段主要是针对埃利科桥至埃格兰克之间的河道，除了移除沿岸剩余的固定式堤防之外，重点实施对埃格兰克河道的塑形——适度开挖河道转向处，辅助河道内形成曲流。如前述埃格兰克河段恰好处于河流急拐弯处，河道狭窄，水流湍急，由于水流的冲刷，堤外河床被侵蚀深达4 m，河流南侧的州公路紧邻此处，而图尔河的支流舒巴溪（Schüepbach）也从高处在此汇入。为了增强河道的行洪能力，减缓河水流速，实施以下措施：（1）拓宽河流拐弯内侧并推平为砾石滩，缓解河流急弯处水流速度，方便鲑鱼等鱼类在水流较缓慢的地方逆流洄游到舒巴溪上游产卵；（2）用石块加固河道拐弯处的外侧河堤，保护南侧的州公路和相邻土地；（3）用开挖岸线获得的土方填入被侵蚀的河床；（4）在河道拐弯处外侧修建多个防波堤以减轻河水对弯道外部形成的压力，其中构成防波堤的石块比河床高30 cm，它们被埋在水下起到引导和减缓流速的作用（图10）。上述措施主要是针对河流形态的恢复，从更长远的角度考虑，图尔河自然修复的目标是重建河流系统的生态完整性。

图9 项目第一阶段启动的岸线“释放”（左：施工前；右：施工后）
资料来源：参考文献[19]

图10 埃格兰克河段的改造措施（上：平面改造措施；下：水下防波堤缓解水流速度）
资料来源：参考文献[19]

3.1.3 兼顾蓄洪与生境修复的河漫滩系统

历史上的“改弯取直”工程将河水控制在固定式堤防以内，使原有干湿交替的洪泛区消失殆尽。随着防洪理论和技术的革新，人们逐渐认识到洪水本质上是一种自然干扰，其干扰结果既有消极的也有积极的^[22,23]。洪水泛滥不可避免，在保障人类生产生活安全的基础上，通过划定洪泛区恢复由坑塘、洼地和河漫滩组成的湿地生境（图11），可确保洪水期行洪空间容纳高水量，同时吸引更多的动植物来此栖息^[24]。季节性的洪水干扰可为洪泛区湿地生态系统提供大量营养物质，促进湿地系统的水循环，对洪泛区生物生命循环起到重要的作用。洪水通过更新洪泛区湿地的物理化学环境，维持着湿地的群落多样性和较高的生物量^[24]。

通过对河流两岸的地形地貌分析，项目施工着重在河流沿岸和河畔森林中形成大小不一的坑塘、洼地和河漫滩，其中面积最小的约0.08 hm²，最大的约1 hm²（详见图7），使它们与图尔河相联系以确保蓄洪用途，其中内陆洼地与坑塘对收集平原区域的雨水并滞留下渗起到较大的作用。周期性的洪水干扰使这些区域产生干湿交替的气候，对本地的湿地生物多样性及其生态系统维持起到至关重要的作用。第二阶段项目遵守瑞士推行以生物材料优先作为河流修复材料的准则，在释放的岸线上通过固定冷杉等植物材料稳固新的堤岸线（图12），这些植物材料可为水生生物提供栖息地。结合各种生境条件，生物学家选择一些以前曾安居于图尔河湿地

图11 湿地生境的恢复（左：洼地形成行洪通道；右：枯木原地保留）
资料来源：作者拍摄

图12 冷杉稳固新岸线做法
资料来源：参考文献[19]

的本地植物进行播种，帮助修复本地植被。以上措施均体现了最大限度利用水体动态和自然过程的理念，通过提升河流沿岸的韧性协调防洪与自然修复。

3.2 改善农业生产条件

图尔河南岸弗拉赫和路灵根（Rüdlingerfeld）等农业区多属圩田区，农田土壤水分含量高，生产条件受制约。项目将开挖河床获取的土方用于增高、强化和重建防洪堤，并用肥沃的河床土壤沉积物加厚农业区的土层（图 13）。以弗拉赫农业区为例，河床土壤沉积物与农业用地的土壤按一定配比精细混合，农地增高约 30 cm，既提高了农田肥力，又可有效预防农田产量因地下水位提升而减少，从而提高芦笋、瓜果等农产品的产量。图尔河周边地区土壤含水量与两河水位及地下水位高度密切相关，项目组为当地农户提供土壤含水量的监测信息，帮助他们制订严格的作物轮作计划，当地农户高度赞赏项目的实施效果。在洪泛期，弗拉赫农业区配建的泵站（水泵流量为 300 L/s）及时抽走多余的水，保障农业生产的安全。

图 13 改善农业生产条件（左：利用河床土壤沉积物与农地土壤精细混合；右：利用开挖岸线获取的土方筑建新河堤）
资料来源：参考文献 [18]

3.3 大范围高强度监测与弹性措施

为配合整体流域的防洪规划，适时响应图尔河水文过程中的动态变化，项目组开展了七项高强度的监测工作，包括水位监测、地下水位监测、河床高度监测、河流位置监测、浮木险情监测、生物监测和蚊情预测（表 2）。这些信息为项目方案的适时调整和流域管理提供有力支持，此外还利用影像监测来记录项目实施过程中河流沿岸风景的动态变化过程。

监测信息也为地区内梯度化的自然管理提供动态指引。由于河漫滩区域属于极其敏感的生物栖息地，项目通过划分森林保护区、不设路径且禁止登陆区、禁止游泳露营及登陆区和公众休闲区实施梯度化的自然管理。游客在户外参观时需遵守图尔河湿地保护条例及其他国家相关法例。在特定区域还设立了补充条款的指示牌，提醒游客需注意配合保护区内可能发生的特殊情况。例如当砾石滩上出现一种易受惊吓的鸟正尝试孵化小鸟时，这一区域将会临时关闭。这些动态的监测信息由护林员传递给现场的游客，以确保生物栖息环境的安全。

3.4 漫滩区自然要素和人文要素评估与管理

结合岸线释放，漫滩区逐渐形成干湿交替的生境条件，密林、疏林、灌木丛、芦苇丛和杂草丛、砾石滩等不同的生境类型均被视为物种多样化的基础^[24]。依据各种生境条件，项目组明确制定相应的生境修复目标和管理策略。以森林生境类型为例，其约占漫滩保护区面积的 70%（约 270 hm²），分为核心保护区、河畔森林、疏林区和其他林区。核心保护区是两河交汇处的森林，面积约 25 hm²，实施封闭式管理，通过洼地的分隔和步行栈道引导公众绕行，自然在此不受任

表 2 图尔河河口和漫滩修复项目的监测项目

项目	监测目的	监测内容	相应策略
水位监测	实时监测以确定洪水变化	河流水位高度及流量变化情况	使用配套的移动式防洪板、抽水泵等联动的弹性设施
地下水位监测	避免在密集耕作的农业区因地下水位上升而导致农地贬值	在沿岸 20 多个测量点定期检查地下水位	使用抽水泵抽走多余的水，并制定填土计划
河床高度监测	避免洪水到来时产生的回涨潮危及埃利孔镇的安全	图尔河的泥沙随着水流进入莱茵河，淤积在埃格利绍（Eglisau）大坝位置，监测此位置沉积物中泥沙的含量	如果河床太厚，在图尔河的水口将实施泥沙疏浚工程
河流位置监测	控制河道在预设控制线内“蜿蜒”，以保障周边的农业区的安全	河流沿线侧向侵蚀程度，确保不超过预设的控制线	修筑防护设施、石堤等，限制侧向侵蚀
浮木险情监测	避免汛期河流沿岸的树木被冲倒并带入河流，杜绝树木漂流到桥梁和发电厂的大坝下形成堵塞	定期检查沿岸的树木生长状况	选择性地采伐沿岸有可能被冲倒的树木并运走
生物监测	濒临灭绝的动植物栖息状况是否真的获得改善	定期检查漫滩的典型栖息物种，如两栖动物、蝴蝶和水生植物，并分析各物种数量的具体发展情况	调整各个栖息地的干预措施和策略
蚊情预测	确保在蚊子繁殖并产生疫情之前作出相应调控	从蚊子的幼虫阶段开始监测其发展状况	通过有针对性的生物控制措施制止幼虫孵化

资料来源：根据参考文献 [17-19] 整理

何人为的干扰并逐渐形成丛林般的植物群落。河畔森林面积约 15 hm^2 ，非常潮湿，处于历史上图尔河曾经穿越的位置，此区域在汛期可能偶尔被淹没，河水的循环流动推动着河流与泛洪区之间的物质循环。疏林区面积约 40 hm^2 ，采光良好，不易受淹没，喜好干旱瘠薄的物种栖息于此，如蜥蜴兰、金字塔兰等野生兰花。项目组谨慎管理此区域新引入的物种，以确保原有物种的栖息环境。根据项目评估，森林边界处由于异质性高，需要更谨慎的管理以保证较高的生物多样性。其余森林区依据各自的生境修复目标实施管理，其中部分森林用作木材原料供应地。

项目组认为自然本身就是很好的设计师，在施工过程中通过保留场地中的自然要素，如植被、枯木、落叶、表土等，为动植物提供较稳定的栖息环境。例如，加固已有防洪堤和新建防洪堤时，均保存场地原有的表土和乡土植被，待施工完毕后重新覆盖到原址之上（图 14）。与此同时，通过专业评估和公众咨询，项目确定保护区内具有历史保护价值和受

公众欢迎的保留景点和文物，包括第二次世界大战遗留的炮台、沿河开设的餐厅等。这些人文要素延续了场地的记忆，是地区人文精神的象征。

3.5 引入康乐服务设施，创造独特的漫滩区游憩体验

图尔河河口漫滩区是瑞士的国家级湿地，是一个极其敏感的生物栖息地，但长久以来也是公众喜爱的户外休闲地，因此苏黎世政府仍对公众开放此区域，同时为确保河漫滩的自然修复，明确划定休闲娱乐区和实施封闭管理的具有重要价值的森林区域。通过区域的生态敏感度分析，项目组确定了一系列具有相当吸引力、适合对公众开放的游憩点，并以休闲步道联系流域内各个参观点和活动点，沿线可近距离观察当地的动植物群落。在标识为对公众开放的休闲娱乐区内，人们可以沿着图尔河和莱茵河漫步、远足、野餐、划橡皮艇和游泳等（图 15, 图 16）。沿岸设置的景点为游客提供独特的湿地体验，如在沿岸观景台观察河水涨落的变化，在部分隐藏于岸边的观

图 14 利用原有地表土和植被覆盖新建河堤

资料来源：作者自摄

图 15 埃利科桥南侧改造形成的滨水休闲区

资料来源：参考文献 [19]

图 16 游憩体验分布图

资料来源：参考文献 [18]

景台上观察栖息在湿地中的水鸟，在佛斯皮兹 (Forspitz) 沿着木栈道穿越软木森林等。景点沿线布置的科普展示牌为公众介绍河流历史、防洪变迁及各个栖息地的相关信息。

3.6 河漫滩修复激发公众保护自然的意识

项目组持续关注如何向公众推广河流和漫滩区的保育和管理知识，培养人们对自然的保护意识，特别是针对河流两岸居住的居民。在弗拉赫镇的图尔河洪泛区自然中心开设了名为“湿地世界”的互动式展览^[25]，通过河道的历史资料，公众可充分了解图尔河的去和演变至今的原因，以及图尔河河口防洪及漫滩修复项目将为河流的未来带来何种变化。展览促使公众反思人类曾经做过哪些有损河流健康的事，如果河流不健康的状态持续下去将会产生什么影响。“湿地世界”展览旨在提高人们保护河流、维护河流健康的意识，公众在参观展览后可继续沿河体验极具吸引力的户外空间。

4 项目实施效果

项目至今已完成约 5.3 km 河道的岸线释放，第二阶段防洪和自然修复工程正持续开展。目前莱茵河畔的埃利孔镇和弗拉赫农业区已基本摆脱洪水困扰，居民和游客可以在公众开放区域休憩并欣赏独特的泛洪区景观。图尔河水道经过岸线释放、河床修复、河岸“蜿蜒”等措施的整治，呈现出较以往更加多样化的景观。短短几年间，河流自身的动态过程促使平板急流与深水平静的河段相间出现；同时，流速较快区域形成的河床比流速平静的区域更凹凸不平，不同质地的河床结合不同水深和水流速度的河道，形成极具生态价值的鱼类和其他水生生物的栖息地。河流两侧重新恢复蜿蜒的岸线正逐渐形成多样化的生境。如在浅水沿岸，一片具有丰富生态价值的软木森林正缓慢生长，在洪水季节可以容纳更多的降水量。据观测，已有一些珍稀动植物重新回到图尔河口区域，如罕见的金眶鸻 (*Charadrius dubius*) 已经开始回归这片湿地并在砾石河岸堆石筑巢，其中 2010 年繁殖配对的鸟巢不幸被洪水冲走，而 2011 年已经有两对繁殖配对，至少有三只年轻的金眶鸻孵化，其中一只已经成年；一只翠鸟选择在划归为恢复河段的场地作为繁殖地。在湿地森林中由于河水下沉流入地下水区域而形成了新的池塘，原生两栖动物如水蛙、树蛙和跳蛙已经占据了区域，并吸引来了稀有的蜻蜓种类（如蓝色豆娘 [*Erythromma lindenii*]），在生物学家的帮助下，西伯利亚鸢尾 (*Iris sibirica*) 重新在此绽放。

5 对我国的启示

图尔河河口防洪及漫滩修复项目所展现的治水观，包含着 1970 年代以来瑞士逐渐发展的“动态化、自然化和多目

标协同导向”的整体流域综合治理方法。防洪观念的变革促使图尔河的治理转向“为河流让出空间”^[26]的思路，通过流域层面的整体治理和提升河流行洪及洪泛区涵水能力，促进河漫滩自然修复、农地改良、休闲设施供给和文化遗产保护等多个目标的实现。

目前，国内水环境综合治理的问题已迫在眉睫，过去以解决单一问题为导向的防洪、排涝、水质净化和改善生态环境等项目往往在解决问题的同时又产生新的、影响更深远的问题。图尔河河口防洪及漫滩修复项目围绕系统综合治理的思想，强调韧性的洪灾管理概念^[27]，可为国内水环境治理的规划和实施提供新的思路和实证，主要启示包括以下几点。

(1) 以综合治理为宗旨，强调整体性和功能复合。在当今人地矛盾较激烈的背景下，单一目的导向的水环境治理显然无法应对复杂的人类社会、经济和环境需求。图尔河全流域治理已开展 30 余年，从整体流域特征出发制定防洪治理的综合策略，同时分段协调河流及周边区域的农业生产、水力发电、生态修复、自然保护和公众休憩等活动。项目组深刻认识到保障地区防洪安全是项目实施的基础，而协调与项目相关者的利益是项目实施的保障。河流修复是一个动态过程，人工技术营造的多样生境仅能为自然带来新的机遇，而不是最终的解决方案。同时，项目组充分认识到协调人与自然之间的关系实质是为自然预留不受人为干扰的空间，让人类活动与自然保护的核心区域保持适度的距离，因而项目对公众休憩基础设施的规划充分考虑自然保护的敏感度。

(2) 以认识河流自身水文过程为基础，强调动态性和跨学科研究。过去 150 多年间人类主导的城市化、农业生产和水利工程等活动漠视这一过程，导致河流生态系统的不断退化^[28]。目前在全球范围内开展的河流修复是公认的保护生态系统健康、保护水资源及提高防洪韧性的手段^[28,29]，河流修复实质是为人类服务的。改弯取直、河滩开发等人类行为在改变河流自然形态的同时导致水生生境的复杂度受到破坏，其过程不可逆转。瑞士境内大量的河流修复研究与实践正试图不断深化和更新对河流水文过程的认识，如通过定量研究分析水文形态的变化与生态系统功能和服务、生物多样性、相关区域地下水和地表水的水质之间的关联，反思河流水文形态对生态系统、生物多样性和水质所产生的影响^[29,15]，而这些研究促使跨学科研究方法的生成，并最终推动河流修复的规划与设计方法的系统更新。

(3) 以系统实施为目标，强调科学性和持续性。瑞士针对河流修复的调查、规划、实施、管理与维护的系统过程及河流修复的评价体系，均建立在对整体流域的长期监测和研究的基础上，因此河流修复项目需依托水文、生态、生物、水利工程等多专业团队相互配合，根据长期监测的多项数据

制定具体措施。从瑞士大量的河流修复实践中可知,修复措施的选择是由河流及其所在流域的特征所决定的,而近半数的项目会选取生境营造和河道、河床重塑这两项措施^[14],其他常见措施包括生物工程、河道多样化、洪泛区生境重建、防洪、游客管理和改善水质等。这些措施会使河流形态发生实质变化,但河流修复最终成功与否则需通过长期监测和综合评估来决定^[30]。

(4) 以本土物种为基点,强调生物多样性的物种保育。图尔河流域的自然修复以保护本土物种为基本出发点,适度营造微循环生态系统,将物种栖息空间和栖息地的质量作为保护生物多样性的关键。从长远来看,通过维持一定数量和质量的栖息地并促进栖息地的联网,可帮助物种基因进行交换,提高生态系统的整体品质,获得可持续发展的优良本底。针对个别物种采取动态监测和相应措施则可以帮助这些物种重新定居。项目开设自然中心和科普参观路线,向公众宣传洪泛区栖息地自然保育的思想,唤起公众对河口栖息地的保护意识。

此外,图尔河的再自然化重视改善地方农业经济和保存人文要素,在项目实施中自下而上凝聚社区力量的社会过程,为项目的顺利开展提供有力的保障。天然河流的人工化是一个不可逆的过程,国内首先应针对天然河道的自然保育和合理开发进行立法;而对人工化河道的修复,亦需通过在国家与地方层面立法和推动广泛的融资渠道促进其治理。人与自然之间的失衡,往往根源于人类的自我中心主义和对自然过程的漠视或误读,图尔河再自然化以多尺度的视野综合审视问题的根源和呈现的方式,从整体思路出发提出了合理规划和精细管理的工作框架,可为国内各类水治理项目提供借鉴和参考。UPI

感谢谢宇滢女士和黄文轩先生为德语资料的翻译和校正提供帮助,感谢赵渺希副教授和邓昭华副教授为本文撰写提供协助。

参考文献

- [1] 王文君,黄道明.国内外河流生态修复研究进展[J].水生生态学杂志,2012,33(4):142-146.
- [2] Linde N, Coscia I, Doetsch J A, et al. Hydrogeophysical Studies in Unrestored and Restored River Corridors of the Thur River, Switzerland[J]. First Break, 2010, 28(8): 69-75.
- [3] 俞孔坚,刘东云,刘玉杰.河流再生设计[J].中国园林,2005,5:1-7.
- [4] Bernard J M, Tuttle R W. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices[A] // Hayes D F. Engineering Approaches to Ecosystem Restoration. ASME. Fairfield, 1998: 320-325.
- [5] Bernhardt E S, Palmer M, Allan J D, et al. Synthesizing U. S. River Restoration Efforts[J]. Science (Washington), 2005, 308(5722): 636-637.
- [6] 陈兴茹.国内外河流生态修复相关研究进展[J].水生生态学杂志,2011,32(5):122-128.
- [7] Nakamura K, Tockner K, Amano K. River and Wetland Restoration: Lessons from Japan[J]. BioScience, 2006, 56(5): 419-429.
- [8] Seifert A. Naturnaehere Wasserbau[J]. Deutsche Wasserwirtschaft, 1983, 33(12): 361-366.
- [9] Gray D H, Sotir R B. Biotechnical Stabilization of Highway Cut Slope[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1992, 118(9): 1395-1409.
- [10] Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices[J]. Published USA Government, October, 1998.
- [11] Woolsey S, Capelli F, Gonser T O M, et al. A Strategy to Assess River Restoration Success[J]. Freshwater Biology, 2007, 52(4): 752-769.
- [12] WFD E U. European Commission: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy[J]. Official Journal of the European Community, 2000(L327): 1-72.
- [13] Bundesamt für Wasser und Geologie. Hochwasserschutz an Fließgewässern[M]. Bern: Wegleitungen des BWG, 2001.
- [14] Kurth A M, Schirmer M. Thirty Years of River Restoration in Switzerland: Implemented Measures and Lessons Learned[J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 72(6): 2065-2079.
- [15] Pasquale N, Perona P, Schneider P, et al. Modern Comprehensive Approach to Monitor the Morphodynamic Evolution of Restored River Corridors[J]. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2010, 7(6): 8873-8912.
- [16] Hilker N, Badoux A, Hegg C. The Swiss Flood and Landslide Damage Database 1972-2007[J]. Natural Hazards and Earth System Science, 2009, 9(3): 913-925.
- [17] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft. Hochwasserschutz und Auenlandschaft Thurmündung[EB/OL]. [2015-09-01]. <http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasser/hochwasserschutz/thurauenprojekt/etappe2.html#a-content>.
- [18] 图尔河湿地网站[EB/OL]. [2015-09-01]. <http://www.thurauen.zh.ch>.
- [19] Zurich B K. Die Thurauen im Wandel: mehr Sicherheit, mehr Natur, mehr Erholung[J]. Mensuration Photogrammetrie Genie Rural (alternate title), 2009, 107(4): 167.
- [20] Bayley P B. Understanding Large River: Floodplain Ecosystems[J]. BioScience, 1995, 45(3): 153-158.
- [21] 翟金良,邓伟,何岩.洪泛区湿地生态环境功能及管理对策[J].水科学进展,2003,14(2):203-208.
- [22] Ward J, Tockner K, Schiemer F. Biodiversity of Floodplain River Ecosystems: Ecotones and Connectivity[J]. River Research and Applications, 1999, 15(1): 125-139.
- [23] 卢晓宁,邓伟.洪水对湿地系统的作用[J].湿地科学,2005,3(2):136-142.
- [24] Rohde S, Schutz M, Kienast F, et al. River Widening: An Approach to Restoring Riparian Habitats and Plant Species[J]. River Research and Applications, 2005, 21(10): 1075-1094.
- [25] Naturzentrum Thurauen[EB/OL]. [2015-09-01]. <http://www.naturzentrum-thurauen.ch>.
- [26] Rijke J, van Herk S, Zevenbergen C, et al. Room for the River: Delivering Integrated River Basin Management in the Netherlands[J]. International Journal of River Basin Management, 2012, 10(4): 369-382.
- [27] 廖桂贤.城市韧性承洪理论——另一种规划实践的基础[J].国际城市规划,2015(2):36-47.
- [28] Schirmer M, Luster J, Linde N, et al. Morphological, Hydrological, Biogeochemical and Ecological Changes and Challenges in River Restoration—The Thur River Case Study[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2014, 18(6): 2449-2462.
- [29] Palmer M A, Bernhardt E S. Hydroecology and River Restoration: Ripe for Research and Synthesis[J]. Water Resources Research, 2006, 42(3): 1-4.
- [30] Palmer M A, Bernhardt E S, Allan J D, et al. Standards for Ecologically Successful River Restoration[J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(2): 208-217.

(本文编辑:张祎娴)