

宋代东南地区水利工程的石工技术

谢智飞^{1, 2}

(1. 中国科学院 自然科学史研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院大学 人文学院, 北京 100049)

摘要: 以技术史视角及复合生态系统历史观来研究宋代东南地区水利工程中石工技术的使用与进步。首先, 宋代水利工程材料上的变革之一为石料逐渐代替木料土料, 石工建筑物越来越多地成为水利工程的关键构件。再者, 人们在水利工程建设中搭配使用石工技术与木工技术。在建设堰坝地基时, 人们会选择木工技术处理软土地基问题, 也会选择石工技术; 技术的选择不仅受到自然条件的制约, 也受到社会经济条件的限制。然后, 石灰胶泥的普遍使用体现了石工胶结技术的进步。最后, 水利工程对石料的巨大需求, 促进了石方开采技术的成熟, 也吸引了大量的劳动力从事采石活动, 而采石业为水利工程提供了充足的石料。

关键词: 宋代; 东南地区; 水利工程; 石工技术; 木工技术

中图分类号: TV93

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2020)06-0598-10

引言

本文所论宋代东南地区, 是指宋代东南五路^①——两浙东路、两浙西路、江南东路、江南西路、福建路。下文出现的“宋代东南”均指此五路地区。宋代东南的地貌多样, 有水润土肥的太湖平原, 也有山高地贫的山地, 更多的是连绵逶迤的低山丘陵。宋代东南地区人口激增, 人们用围水造田和深化精耕细作的方式来提高平原地区的地承土载能力^[1]。因平原面积有限, 而丘陵山地占到东南五路总面积的80%以上^[2], 其被称为东南丘陵地区。所以, 去丘陵山地、开拓农田成为人们必须的选择。农田从平原走向丘陵山地, 也带来了宋代东南的水利工程的变迁——平原地区以河流为水源、以湖储水的水利系统, 转向丘陵山地以溪流为水源、以陂塘储水导水的水

利系统。

宋代东南地区是当时全国经济发展最好的地区, 这也与当地水利技术的革新密切相关。石工技术是水利技术体系的重要部分。研究者在宋代水利石工技术的相关议题上已取得了丰富的成果。例如, 中科院自然科学史研究所集体编写的《中国古代建筑技术史》探讨了宋代时期石料、石灰胶泥在桥梁、堤坝等建筑工程中的广泛运用^[3]238-240, 251-253, 272-273; 本田治注意到宋代婺州的地方精英募集私资, 以钜石修筑堰堤的坝体, 凿石为堤护、水门等部件^[4]; 李涪探讨了宋元时代石作技术的进步及地方石作工艺的发展^[5]; 朱丽东等人以地理学手段, 发现宋代为浙江历史上采石的高峰期, 而水利工程对石料的需求是此现象的重要促因^[6]; 李文斌认为宋代建筑石料的广泛

^① 两浙路在熙宁七年(1074年)分为两浙东路与两浙西路, 后复为一路; 熙宁九年(1076年)又分置, 熙宁十年(1077年)复合。建炎三年(1129年), 两浙路再次分为浙东路与浙西路, 之后未再复合。二路的自然条件、经济、人文有诸多不同, 故本文将浙东与浙西分开论述, 而非视为一路。

收稿日期: 2019-12-05; 修回日期: 2020-03-02

基金项目: 国家社会科学基金青年项目“中国古代日用类书中的农业史料整理与研究”(19CZS076)

作者简介: 谢智飞(1988-), 男, 博士研究生, 研究方向为中国农学史。E-mail: xiezhifei15@mails.ucas.ac.cn

运用离不开采石业的发展和石灰作为新型建材的广泛使用,并且“以石易木”的建筑建造观念得到不断深化和实践^[7]。但是,学界缺少对宋代东南地区水利石工技术专门且深入的研究,流于粗略的概括与评述。因此,笔者将对此项议题进行具体的研究,试图探索在宋代东南地区的水利工程中石工技术有何革新、有何进步、有何传承。

另外,笔者将通过技术史的视角与复合生态系统的历史观研究上述议题。复合生态系统(compound ecosystem)是自然生态系统与人文生态系统的综合,复合生态系统的历史观则是史学研究与自然生态和人文生态的综合,放之于宋代东南地区的水利工程研究,可知工程建设不仅受丘陵山地地貌的制约,而且受经济水平、生产制度等多方面因素制约。

1 石工技术与木工技术的搭配

宋代东南的水利工程,不仅是为了抬高引水高程,也是为了蓄水,从而在旱时得以灌溉农田。堰坝在挡水、蓄水、输水、泄水的关键部位往往要经受水流的集中冲刷,要求建筑物具有较高的稳定性和抗冲刷性^{[8]276}。相比于前代,宋代在堰坝材料的变革之一是土质堰坝、草土堰坝向砌石堰坝的转变。《河防通议》载:“凡修砌石岸……先用整石修砌,修及一丈后用荒石再砌一丈,一例高五尺。第二层除就旧签桩外,依前铺塌木板,撒子木秆草。再用石段修砌高五尺,第三层亦就旧分例。于上修砌高一丈,功就三层,通高二丈。”^{[9]19}可见,宋元时代官方要求陂岸修建,如是石岸则内外三层皆用石料。

在唐末五代,水利工程的建设材料中尚缺乏石工建筑物。比如泰和县槎滩陂,其于南唐保大元年(943年)完工,建陂者周矩修筑堰坝的过程为:

“据早禾江之上游,以木桩竹筱压为大陂,横

遏江水,开洪旁注。”^①

槎滩陂的堰坝是将木桩打入河床,然后用长竹条编织并捆上木桩,将木桩竹条压实,增加坝体的坚固性,之后再筑填黏土。可见,槎滩陂于后唐建立,并无石料。

通过史料,我们可以发现在宋代东南的水利工程中,堰坝的材料更多地从木头、草垛、泥土转变为石料。许多水利工程原先并无石工建筑物,多是木、竹、草、土而制,人们为了增强水利工程的稳固性,使之更好地抵挡水流的冲力,更长久地发挥效用,于是在工程中增加石工建筑物。例如三步泄,此工程的建筑材料原先并无石料,用桩杙大小二千四百五十,竹落一千二百三十四,草千担。^{[10]3742}

这些用桩杙、竹落、草做成的堰坝,并不足以稳定到对付水流,“内基虽固,外捍不密”,所以之后重修,“累石为二马头以御潮”。

另有泉州清洋陂。清洋陂原来也是土堤,“每岁之春,运土筑作,一遇霖溢则坏”。之后在淳熙七年(1180年),始累石。埤之且为三埤以泄时水,其长一百八十尺,广二丈,……陂之南北增筑长埤,各三倍其长之数。^[11]

清洋陂不仅在坝体改用石料,甚至在陂的上游、下游增筑砌石,有五百丈之长。

特别值得关注的是,因为石工建筑物的稳定性、坚固性、持久性都远胜木工建筑物,所以人们在水利工程中趋向于以石工建筑物代替木工建筑物。徽州知府袁甫在奏疏中提到石料好过木料:

“堤防不固,水势易陵,终非永永之计。臣愚以为若欲久而勿坏,莫若以石为之,夫石之胜于木也。”^[12]

徽州农田,“弥望数百顷之禾惟资一塘竭之泽”,水利工程对农业起至关重要的作用。所以,地方官希望徽州水利工程能够久而不坏,则认为

① 见周中和《槎滩碛石二陂山田记》,刻于江西省泰和县螺溪镇爵誉村周氏总祠久大堂前厅。

“以石为之”，石工胜过木工。

又见重修太平陂，“为散水，石以窒罅卫址塍，用石尤多”。因为石料消耗大，用费甚巨，所以有人建议“松性宜水，寘松于里，饰石于表，可省费”，知军曾用虎没有采纳这项建议，他认为：

“木不寿，于石明矣。”

悉易以石，钱出公家者百五十万，僦夫六千。”^[10]³⁷⁵⁰

“木不寿”，则是面对激流的冲击，木料难有长久的寿命。木头腐烂后导致坝体破坏，陂倾堤溃。而石头却能在水中长久地生存，故“于石明矣”。

又如浙东路丽水县通济堰，原来是柴木坝，每年初春洪峰来之前的枯水期要大修，维修的材料主要是柴木与土砾^[13]。其于开禧元年（1205年）改为石坝，大大延长了坝体寿命，减少了维修费用。见《括苍金石志》摹宋代范成大的石刻《堰规》：

“旧堰自春初起工，用木筱筑成堰堤，取材于山，栏水入堰。自开禧元年郡人参政何澹筑成石堤，以图久远，不费修筑。”^[14]

值得注意的是，石工建筑物与木工建筑物之间并不是简单的替代关系，二者更多是相互搭配，发挥石工技术与木工技术各自的优势。在宋代东南，石工技术与木工技术的搭配使用见于多个水利工程。石料的优势前文已述。木材的优势在于处理便利，易于切割，材料易得；使用木薪为建坝材料，较之石材不仅可缩短工期，还可节省费用^[7]。并且，松木作为木材中重要的一部分，处理软土地基有很好的效果^①。宋人利用松木的此优

点，以松木作为堰坝的地基材料，处理软土。

东南丘陵的水利工程建设时，河床往往是软弱土。软弱土具有高含水量和高孔隙性、低渗透性、高压缩性及低强度等特性^[15]。软土地基的种类很多，东南丘陵的河道地基一般是河流相和湖相沉积而成的含淤质粘土类地基，还有各种山前冲积、洪积相所形成的夹卵石、漂石的粘土类地基^[16]。水利工程在软土地基上修建，如不处理软弱土的不利要素，则会危害水利工程的安全。

宋代东南的人们为处理软土地基，以松木为桩，将其钉入软土，上叠以石。以营田陂为例，营田陂建造时，坝基乃是钉入松木，上叠以石。《修筑赤岸营田陂记》载：

“骈木为基，就山取石，叠三级以壮其势，中开二门以疏怒湍，旁砌两岸以御横流，东西相距三百尺有奇。用木三百株，石又三倍之。”^[17]

该堰坝也是以骈木下桩，用石头叠上，共叠三层，并且为防止溪水被挡后横流冲击两岸，“旁砌两岸”，以砌石护岸。

处州的蒋溪堰也与营田陂类似。蒋溪堰原来是土陂土堤，虽能灌溉三十顷良田，但是一遇到大雨，堰坝则会损毁，“每遇梅霖秋潦，狂流怒集，却堰如扫少霁，则畚鍤蚁聚，薪葑云积，往往不旋踵而溃”。于是，靖康初年知县姚穀积石障溪，以砌石堰坝代替土质堰坝：

“知县姚公躬访旧址，命工采石绝流，为堰砥以松干，级以段石，又为陡门，时其启闭。”^[18]

新修建的蒋溪堰以松干为桩基，并且“级以段石”。石工与木工相结合大大提高了工程质量，蒋溪堰到清代康熙年间仍在使

① 软土地基处理历来是水利工程建设难题。软土地基是一种不良地基，用松木桩处理软基可以提高软土地基的强度，保证地基的稳定，降低软弱土的压缩性，减少基础的沉降和不均匀沉降。时至今日松木桩仍然用于水利工程的软基处理中。2017年，江西省余干县（在宋代，此县位于本论文研究的东南五路中）国营康山垦殖场的高标准农田建设项目中，主排涝沟平均淤泥深度1.20m，软基础平均深度1.80m。施工人员为处理软土基，设计三种方案：抛石挤淤、沟底满堂浇筑、松木桩固基。之后，施工人员进行工程地质勘察和土工试验，又考虑工程造价等经济因素，决定采用松木桩方案。方案证明：松木桩在淤泥、淤泥质土的基础处理中具有很好的适应性，还能降低工程造价。它相对于抛石挤淤方案节约50%，比混凝土预制桩节约72%左右。由此可见，松木桩作为传统的地基加固方法，在中小型道路水利工程的软基处理中有较好的工程性能。参见：邓涛.浅谈松木桩处理软土地基[J].民营科技,2011(04):182；李兵.浅谈松木桩在软基处理中的应用[J].中国水能及电气化,2019(03):1-4。

路的水利工程它山堰也是如此。修筑它山堰时也是在河床中间沙砾石层打入许多木桩，以木桩处理软土地基，木桩之间横扎巨木以防沉陷，之后在木桩基础上垒以砌石^{[20][24]}。

综上，石工与木工混合使用的坝体，木头（主要是松木）用来钉入预定桩木位置，成为桩基，然后在桩基上垒上砌石。砌石收分则是明收，明收系面石（堰坝护面之石）逐层向内收进一寸至四五寸不等，表面呈斜坡状^{[8][27]}，以减缓水流的冲力。以松木桩处理软基是一种廉价、简便而又科学的方法，它是陂塘水利的复合生态系统下的技术选择。

但是，有些水利工程则完全放弃了木工建筑物，全然采用石工建筑物；它们不以松木桩处理软基，而是以石工建筑物作为地基。其中以福建路莆田县木兰陂为典型。莆田县东是低山丘陵、平原，平原则是由木兰溪等河流冲积而成，是狭长的福建沿海平原的一部分。木兰溪全长 116 公里，天然落差 784 米^[21]，雨季水量猛增，水流湍急，而木兰陂就建在木兰溪之上。北宋年间，先后有钱四娘、林从世、李宏三人试图在木兰溪建设陂坝。先是治平年间，钱四娘于木兰溪上游建坝，坝被山洪冲坏；之后，又有林从世于木兰溪下游建坝，坝被海潮冲坏^[22]。钱四娘、林从世所建陂坝的损坏，虽有山洪、海潮冲击力强的原因外，也有坝基不稳因素。所以，李宏决定用石柱代替木桩：

“用木榿悉更以石，为石柱三十有二，间其联接处相钩锁，浪不能啮。”^{[10][39][2]}

从史料“木榿悉更以石”可以推断，钱四娘与林从世是以木料作为陂坝的地基，可是坝基并不稳定，钱四娘所建之陂，陂成即被洪水冲垮。以木桩处理木兰溪的软土地基之所以失败，笔者认为与建坝处的软土地基的深度有关。木兰溪受

海潮影响，海潮会带来含淤质粘土，山前冲积、洪积相会形成夹卵石、漂石的粘土^[23]，所以木兰溪河床软土地基问题相当严重。软土基深度可从李宏带领人们挖掘软土层推断：在基址周遭排完水后，于海水、溪水交汇处向下深挖一丈，又投巨石其中^[24]，形成石质地基，此地基深三丈五尺，长宽各三十五尺，累石其中。^[25]

可见，地基深达 10 米有余。而松木桩处理软基的一大软肋则是深度处理有限。松木桩一般不长于 5 米，在软土厚度少于 5 米时，才较为适宜用松木桩^[26]。所以，木兰溪软土厚度在 5 米以上，木桩作为地基不是最优选择。

李宏领人投巨石于基址，也是利用巨石的重力，在软基上起到挤淤的作用^①。并且据《莆田木兰水利记》载，基桩也由木榿变更为 32 根石柱，32 根石柱被称为“将军柱”，其“厚四尺五寸，长一丈二尺”，大大增强了坝基的稳定性。而且，木兰陂于陂上游铺长石，接引水流，抬高水程，又于下游铺设长石，疏导水流，长石“百有余丈”^[25]。长石铺盖可减少上游水流的渗透量，使淤泥不沉积于坝底，又阻挡了水流对堰基的冲刷。总之，木兰陂运用石工技术，达到坝基稳固、延长使用寿命的目的。

不过，全然采用石工技术带来的弊端则是工程耗费巨大，工期长，维修费用多。木兰陂建造时，李宏“散金如泥，陂未成而力已竭”，之后得莆田大户十四家募资，“慨然施钱，共七十余缗，助成本陂”^[27]。从中可见木兰陂的建造耗费。木兰陂前后历经八年完成，后来又千余亩农田作为“陂田”，陂田的收入作为木兰陂的维修费用^[28]。不过，木兰陂“溉田数万顷”^[29]，带来巨大的经济利益，故当地大户愿意承担建陂费用。这是木兰陂形成了独特的人文生态环境。

① 现在的水利工程也常用“抛石挤淤”法。它先是将软基上的表层淤泥清除，然后将大粒径的片、块石均匀分层抛投，之后用挖掘工具碾压，使片、块石沉入基本稳定。其目的仍然是保证地基的稳定，降低软弱土的压缩性，减少基础的沉降。参见：李兵. 浅谈松木桩在软基处理中的应用[J]. 中国水能及电气化，2019(03)：1-4.

2 石工建筑物的胶结技术

水利石工建筑需要时刻注意砌石之间的紧密性。如石坝, 需要对砌石间的缝隙进行填堵, 如果缝隙间有大股水流溢出, 会造成砌石的移位, 进而使坝基在流水长期的侵蚀下出现明显的失稳现象, 从而造成坝基大面积渗水, 最后坝体的垮陷^[30]。所以, 宋代东南丘陵的陂塘建设, 尤其是陂的建设, 砌石间的密封性非常重要, 必须用胶结材料胶合, 以减少透水性, 防止管涌等流弊产生; 同时不同的砌体间也需要胶结材料连缀, 形成整体, 以抵抗水压力, 以提高陂坝抗滑和抗倾覆的稳定性^{[8]283}。

在木兰陂的建造中, 其护岸“先叠石为地牛, 伸入地中, 纵横参错, 中实以灰砾”^[25]。值得注意的是, 木兰陂在石块间“中实以灰砾”, 这与32根石头桩基“间其联接处相钩锁”是同样的目的——联结石块, 坚固坝体。不同点在于: 灰砾是一种胶结材料, 而铁物钩连则是金属固结技术。宋代莆田人建造木兰陂时, 砌石不可能被打磨到完全平整以至于砌石间毫无缝隙, 所以在堆垒砌石时, 砌石之间会有许多狭长缝隙。所以, 人们在砌石缝隙之间灌以石灰胶泥, 使砌石胶结。木兰陂灌入的“灰”, 实际上也是一种石灰胶泥; 而“砾”是为了在灰泥硬结前保证砌筑的石块不会变位而加入的小石块^{[3]272}。

石灰胶泥的普遍使用, 进而促进了石灰的烧制。宋代砖石结构的建筑增多, 石灰则是粘合石构件的必需材料, 宋代官方建筑标准中, 要求“安砌, 每长三尺, 广二尺, 矿石灰五斤”^[31]。宋代炼制石灰已相当普遍, 以石灰岩煅烧石灰的技术日益普及^[32]。宋代官职设将作监右校署令、丞二人, 其职责有“土作、瓦泥, 并烧石灰”; 《鸡肋编》记载: “二浙造酒, 皆用石灰。……尝在平江常熟县, 见官务有烧灰柴, 历漕司破钱收买。每醕一石, 用石灰九两。以朴木先烧石灰令赤, 并木灰皆冷, 投醕中。”^[33]由此可见, 石灰烧制相当

普遍, 石灰的运用也相当广泛。《证类本草》云: “石灰, 生中山川谷, 今所在近山处皆有之。此烧青石为灰也。”^[34]又见宋真宗“诏太山采碑石泊烧石灰所历民田践禾稼者, 特与给赐”^[35], 对因烧石灰而遭受作物损失的农户给予赔偿。可见, 石灰来源于煅烧青石。《天工开物》清楚地记载了详细的石灰烧制流程 (见图1):

“百里内外, 土中必生可燔石。石以青色为上, 黄白次之。石必掩土内二、三尺, 掘取受燔, 土面见风者不用。燔灰火料, 煤炭居十九, 薪炭居什一, 先取煤炭、泥, 和作成饼。每煤饼一层, 叠石一层, 铺薪其底, 灼火燔之。”^{[36]286}



图1 烧石成灰

来源:《天工开物》卷中《燔石第十一》^[36]

《天工开物》记载的烧制石灰之法也得到《本草纲目》的验证, 李时珍对石灰烧制之法注曰:

“今人作窑烧之。一层柴或煤炭, 一层在下, 上累青石, 自下发火, 层层自焚而散。入药, 惟用风化不夹石者良。”^[37]

由此可见, 明代煅烧石灰仍用青石, 与宋代无差别; 青石煅烧中, 则是燃料于下青石于上, “灼火燔之”, 宋代烧制石灰之法应与此法类似。至于石灰泥中各个成分的比例, 木兰陂史料中并未给明, 笔者以《农政全书》的记载予以参考。《农政全书》称胶结材料为“凡齐”, “齐”通“剂”

字。书中载：

“凡齐，以斗斛槩其物，水和之。三分其凡，而灰居一，砂居二，漚之如糜，谓之甃齐。三分其甃齐，加水一焉而调之，谓之筑齐。”^[38]

可见，石灰占比 1/3，沙占比 2/3，混合后用火煮炼，成为甃齐；然后甃齐占比 3/4，水占比 1/4，调和，就会成为灌缝的胶结材料“筑齐”。由此看，木兰陂胶结砌石的灰砾中，石灰可能占比约为 1/4，沙子占比 2/4，水占比 1/4，胶状物灌入砌石缝隙，达到胶结石块的目的。石灰、沙石、黄土等比例又见朱熹讨论墓葬基址修建所用的材料配比，其言：

“先布炭末于圻底，筑实厚二三寸。然后布石灰、细沙、黄土拌匀者于其上，灰三分，二者各一，可也。”^[39]

从中可见，石灰占比 3/5，细沙、黄土各占比 1/5。此处混合物中石灰的比例高于《农政全书》的记录，笔者认为原因有以下几点：一、墓葬要求干燥，所以不会加入过多水分；二、石灰占大部分更有利于固基、驱虫蛇、防腐；三、丧礼中为了表达对逝者的尊敬，生者不会被墓葬的花销所限制，所以可以购入价格比细沙黄土更昂贵的石灰。不过，朱熹的记录却验证了石灰与其他物质的混合形成了石灰胶泥。朱熹还认为，“石灰得沙而实，得土而黏，岁久结为全石，蝼蚁盗贼皆不能进也。”^[39]因此，石灰胶泥会比单纯使用石灰更能发挥性能。可以推断，石灰胶泥不会只用在墓穴中，也会利用在水工砌石建筑上。

另一方面，在木兰陂水利工程中，人们用铁锁、铁锭等铁制物将柱石勾连，则是金属固结技术的运用。除此之外，人们还冶炼铁水加固石坝。两浙东路鄞县的它山堰，在崇宁二年（1103 年）重修时，增卑以高，易土以石，冶铁而固之。^[40]

又见绍兴丙寅年（1146 年），它山堰“朝夕冲突，川淤堤垫，堰埭堕圯”，太守秦公修缮堰坝，

补土石之罅漏，塞梁坍之隙穴，易土以石，冶铁而固之。^[41]

可见，时人在低洼处增高，增加石工建筑以替代土堰，并且再次用到铁水加固石坝。

这样的案例还见于江南西路的虔州。虔州（南宋绍兴年间改名为赣州），乃是章水、贡水交汇之处，“岁为水啮”。宗翰知虔州后，见当地常年为赣水所患，带领当地人民，伐石为址，冶铁镔之^[42]。以铁水加固石堤，取得相当好的效果，石堤“由是屹然”。

总之，铁物勾连、铁水浇灌方法，不仅联缀了砌石，而且加固了石坝石堤，使之耐海水的腐蚀或者河流的冲击。

3 石料需求与石方开采技术

在丘陵山区修建输水渠道、清理建物筑物地基、清理河道，或者是堰坝本身需要的石料，都离不开石方开采。因此，石方开采技术是水利技术体系的重要一环。为了满足水利工程建设与修缮过程中对石料的需求，采石业需要拥有成熟的石方开采技术，如此方能供应大量且稳定的石料。

宋代东南地区的水利工程对石料的需求相当巨大。中型水利工程采用大量的石工建筑物作为构件，单个的小型、微型水利工程对石料的需求比不上中型水利工程，不过小型、微型水利工程数量很多，所以总体上也有巨大的石料需求。上文述及的营田陂，它消耗的材料中，“用木三百株，石又三倍之”^[17]，石工量当在 900 块以上。对于砌石的大小，史料并未给出详细数据，我们可以黄河上的石工为参考，宋代规定黄河堤岸砌石“各长一尺五寸，阔厚各一尺，重 120 斤”^{[9]20}，这是在大型水利工程上实施的通用标准。考虑到营田陂由“县令黄侯总其事”，所以石料应当参考官方标准。我们可以计算，坝体东西相距三百尺，因为砌石长一尺五寸，当用 200 块砌石；因为石块“叠三级”，共使用三层，则需要 600 块砌石。如

果我们再考虑为应付横流而砌两岸消耗的砌石,那么工程总消耗量在千块左右。如此,这个工程的石料消耗在 120,000 斤。

又见江南西路洪州的石堤。赵槩知洪州,见城西南隅居民为江水所患,故建石堤,“高丈五尺,长二百丈,用石九千段”^[43]。按黄河堤岸砌石标准,假设洪州石堤只累一层,每块砌石阔厚 1 尺,那么石堤每一竖列当叠上 15 块砌石;因为用石 9000 段,如此,每一排当用 600 块砌石,因为长达二百丈,则每块砌石则长 3.33 尺。当然,石堤可能要累几层砌石,加强坚固性。如此的话,砌石可能厚度超过 1 尺,长度也超过 3.33 尺。按此计算,每块砌石重量远远超过 120 斤。所以,洪州石堤工程的石料消耗量超过 200 万斤。又见福建路漳州广济陂,“筑垒石为堰,其袤一百三十丈”^[44],龙溪县绿石渡“鞭石为堤,从地跨石,长二千七百八十尺”^[45];工程都需要大量的石料。另外,前文已论,蒋溪堰的石坝、清洋陂几百丈的砌石堤、木兰陂坝体全是石制,石料的消耗同样巨大。

由此可推断,宋代东南的石方开采技术需达到相当成熟的水准,方能满足水利工程对石料的需求。并且,宋代东南的较大型塘堰多创于明清之前,即是宋代为多,明清时只是许多重建和改建工作^{[20]466}。这进一步证明了石方开采技术对后世的影响。

水利工程需要的石材石料,往往在深山开采,如两浙东路绍兴、宁波,江南西路兴国县,福建路泉州等都有规模巨大的石场,人们依山凿石。清人胡天游《伐石志》记录了作者于浙江所见的采石法:

“越山石多而采习,百材资焉……其始发,集十百俦登颠,东西视,相厥腴脉,剥土之肤于外

者。乘其燥气,轮水激之。已则礲璺,然后环巨凿竭勇击焉,块而材鬻。或值大坚不可猝伐,横崖植琢,腰絙悬撞之。崩岸削绝,下临洞黑,生活乎中者缚柔木为云梯,接数十仞。猿猱臂联,力拊喘升,或击脱阶绝,霍飞鸟堕,骨无完收。伐之久,门户呀豁,渐入愈深,中空室堂,倾穿奥窈,龟行狐蹲,吹炬击敲,石时倾砢,群醺于内。或石尽底通,冒洪溺漂,岁死者数焉。”^[46]①

从中我们可以看到开采石材的过程:先是百十伴侣结伴于山顶,查看岩石纹路,剥离岩石之上的土层。之后,趁岩石干燥,则用水流冲激石块。然后用巨凿凿击岩石,利用楔子把石头裂成长方形的石坯;“块而材鬻”,要对石块再加工,凿成规整的大小形状方好出售。如果遇到坚硬的石块,还要从山顶悬下绳索,采石人于半空中持工具凿击石块。之后,石洞越凿越深,有塌方的危险。

我们借助考古材料,可以观察出北宋至清代中期采石法是一脉相承的。今河南省巩县的宋代采石场的考古调查中,采石场长达数里,位于山谷两侧,“斜坡状谷壁上布满了昔日采石留下的采石面和采石坑,时而可见为切割岩层而凿出的鉴窝以及篆刻竖线。采石面既长且宽,采石坑有大有小。”^[47]遗址显示宋代采石方法也是在斜坡上凿穴,从“鉴窝”、“篆刻竖线”、“采石面”、“采石坑”可见北宋采石景象与后世的清代无多大差异。又见南宋临安府调查履泰山被非法打凿石段一事,“禁山既被逐人凿成石穴,逼近彰露,今有已取石片、石屑堆积在彼”,“奸民穴石,以给髹筑”^[48]。从“凿成石穴”、“穴石”我们可知,当地的采石法是凿击成穴、穴中采石。可见,宋代东南的石方开采仍主要采用手工打楔——人们借助于手工器具钻凿和捶打岩石,利用岩石的劈裂

① 此为笔者所见的东南地区最为清晰、详尽的采石法记载,美中不足乃是《伐石志》为清人胡天游所著,描绘的是清代中期浙江省的采石场景。下文将结合清人记叙的采石法、北宋采石场的考古资料、南宋的采石文献来考证宋代东南地区的采石法。待日后笔者发现更多史料,会在未来的研究中予以深化与补充。

性能,获取石料。由此,从北宋至清代中期东南地区的采石法无多大变化。

另外,因为采石坑会蓄上雨水,有些石料就位于河流,所以要排水采石。《云林石谱》载:“衢州常山县思溪……石出水底侧垂,如钟乳,杂沙泥,不相连接,采人车戽深水,得之甚难。”^[49]所以,采石还需要龙骨水车的辅助。

4 采石业的人力投入

宋代仍是以人力配之以手工器具开凿石方,如此单位生产率无法有质的提升。所以,面对水利工程对石方的巨大需求,采石业首选的解决方法是增加人力投入,亦即是有更多的人前去采石。

从宋代文献里可知,官方开采石方要调用大量人力。如修建永泰陵,“取大小石二万七千六百有余”,调用人力乃是“凡役兵匠九千七百四十有四”“复请募近县夫五百,俾悉挽巨石以訖其事”^[50];修建宋神宗两位皇太后陵墓,“集七路匠师与夫、陪役之兵,以指计者九万六千三百三十。”^[51]另外,民间自发性的采石带有营利目的,吸引大量的劳力加入。地方官岳珂为禁止临安府周边民间非法采石,于奏疏中描绘了游民聚集采石的场景,很是生动,其曰:

“工徒系踵,剗剗之声相闻。”^[48]

今有侧近居住不畏公法人朱乙、朱四、朱五二、吴三、祝五二、陈四、陈七、丁五等,忽自去年以来,公然违戾上件指挥,多雇游手,凿石货卖,倍多于前,委是利害。^[52]

近有不畏公法之人,……不顾上件指挥,依然聚集游手,百十为群,凿石货卖,渐为空洞,委是利害。”^[52]

从朱乙、朱四、朱五二、吴三、祝五二、陈四、陈七、丁五这些普通平常的名字可见,从事采石活动的人也多是普通的民众,他们受利益驱使,并且“多雇游手”、“百十为群”。可见,采石是相当普遍的现象了。甚至,获得官方采石许可的采石户将采石权力非法卖给他人,“杨百九正是

宕户,租与逐人打凿。”^[48]我们从开采石方的群体姓名、存在的雇佣关系、采石许可权的转让,可见宋代东南民间的石方开采有优厚的利润、完整的销售体系、较大的规模,如此看来,水利工程巨大的石料需求能够得到满足也不为奇了。

而在采石业中投入如此多的人力资源,这与宋代社会、特别是南宋社会,东南五路富裕的劳动力分不开的。如福州“四民皆溢”、“能执伎以游四方者,亦各植其身”^[53],杭州“钱唐游手数万,以骗局为业”^[54]。正是种植业溢出的劳动力相当富余,才能有足够的劳力投入到人力密集型的采石业中。所以,采石吸引到大量的“游手”,形成规模生产。

这并非一郡一县之现象,在东南五路都很普遍。李觏言:“东南之郡,山高者鲜不凿,土深者鲜不掘。失职之民,网漏之奸,昼夜合作,足蹈重泉而不忧于陷,首戴川泽而不虞于压。矿石云涌,炉炭之焰未之有熄。”^[55]可见,“失职之民”(最多的部分是脱离农业生产的农民)凿山掘土,创造了巨大的经济利益。另外,手工业被压制的社会环境也得到改变。手工业也受到重视,不再被视为当被压制的“末业”。^[56]浙东事功学派的代表人物叶适则言:“夫四民交致其用而后治化兴,抑末厚本,非正论也。”^[57]

综上,在经济利益与社会环境变更的双重驱使下,大量的从种植业中挤出的人口进行采石活动,生产出源源不断的石料。

5 结语

宋代水利石工技术有着长足的发展,体现在水利工程建设中石工构件的大量使用、石工技术与木工技术的合理搭配、石灰胶泥的广泛运用、石方开采技术的成熟等诸多方面。首先,堰坝从土堰、草堰向石堰转变,河堤从土堤向砌石堤转变,石工建筑物大量地出现在水利工程中,这是宋代东南地区水利的变革之一。其次,宋代东南的水利工程尤其是中型水利工程,石工技术与木

工技术得到合理的搭配使用。陂坝建设地基时, 会采用松木桩处理软土地基, 此法取得良好的效果。而木兰陂选择石料处理软基, 则是当地自然生态与人文生态共同作用下的结果。再者, 石灰胶泥是水利工程中主要的胶结材料, 石灰烧制的普遍促进了石灰胶泥的运用; 金属固结技术也有所运用。最后, 宋代东南水利工程的巨大石料需求得到满足, 由此笔者推测时人的石方开采技术已经成熟, 而手工打楔法则时人主要使用的石方开采法。

另外, 水利工程对石料的需求促进了采石业的人力投入。在经济利益与社会环境变更的双重驱使下, 大量的从种植业中挤出的人口进行采石活动, 客观上增加了采石业的人力资源投入。

参考文献

- [1] 韩茂莉. 宋代农业地理[M]. 山西: 山西古籍出版社, 1993: 131.
- [2] 韩茂莉. 宋代东南丘陵地区的农业开发[J]. 农业考古, 1993, (3): 132-136.
- [3] 中国科学院自然科学史研究所. 中国古代建筑技术史[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [4] (日)本田治. 宋代婺州の水利開発-坡塘を中心に[J]. 社会経済史学, 1975, 41: 1-24.
- [5] 李洵. 我国隋唐及以后的建筑石作工艺探析[J]. 自然科学史研究, 2009, 28(2): 227-238.
- [6] 朱丽东, 金莉丹, 谷喜吉, 等. 隋唐宋时期浙江采石格局及其环境驱动[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2014, 37(1): 108-114.
- [7] 李文斌. 宋代建筑石料研究[D]. 开封: 河南大学硕士论文, 2015.
- [8] 周魁一. 中国科学技术史·水利卷[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [9] [元]沙克什. 河防通议[M]. 北京: 中华书局, 1985.
- [10] [宋]刘克庄. 刘克庄集笺校[M]. 北京: 中华书局, 2011.
- [11] [明]何乔远. [崇祯]闽书[M]. 卷之八“陂洋塘”. 明崇祯刻本.
- [12] [宋]袁甫. 蒙斋集[M]. 卷二“知徽州奏便民五事状”. 四库全书·集部·别集类·南宋建炎至德佑.
- [13] 沈衣食. 丽水通济堰台议[J]. 中国农史, 1992, (3): 91-95.
- [14] [清]李遇孙 辑, [清]邹柏森 校补. 栝苍金石志[M]. 卷五“堰簿”. 光绪元年潘绍诒增修本.
- [15] 陆慧飞, 李水明. 松木桩在水利工程软土地基处理中的应用[J]. 中国科技信息, 2012, (17): 58.
- [16] 邓涛. 浅谈松木桩处理软土地基[J]. 民营科技, 2011, (4): 182.
- [17] [民国]王廷珪 修, [民国]徐友梧 纂. [民国]霞浦县志[M]. 卷之二十五“修筑赤岸营田陂记”. 民国十八年铅印本.
- [18] [清]曹揄彬, 等 修, [清]朱肇济, 等 纂. [雍正]处州府志[M]. 卷之十八“龙泉蒋溪堰记”. 清雍正十一年刊本.
- [19] [清]潘绍仪 修, [清]周荣椿 撰. [光绪]处州府志[M]. 卷之四“蒋溪堰”. 清光绪三年刊本.
- [20] 张芳. 中国古代灌溉工程技术史[M]. 太原: 山西教育出版社, 2009.
- [21] 福建省地方志编纂委员会. 福建省志·地理志[M]. 北京: 方志出版社, 2001: 132.
- [22] 叶淑晶. 国家与地方的互动[D]. 宁波: 宁波大学, 2018: 10-14.
- [23] 杨小光. 软弱地基的松木桩处理[J]. 价值工程, 2014, 33(12): 126-127.
- [24] 何彦超. 木兰陂与宋清时期区域水利社会研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 24.
- [25] [宋]余颙. 莆田木兰水利记[M]// 木兰陂集. 福建省莆田市图书馆藏清刻本.
- [26] 李兵. 浅谈松木桩在软基处理中的应用[J]. 中国水能及电气化, 2019, (3): 1-4.
- [27] [宋]方天若. 木兰水利记[M]// 木兰陂集. 福建省莆田市图书馆藏清刻本.
- [28] [宋]谢履. 奏请木兰陂不科圭田疏[M]// 木兰陂集. 福建省莆田市图书馆藏清刻本.
- [29] [宋]朱熹 撰, 曾抗美, 徐德明 点校. 晦庵先生朱文公文集(六)[M]. 卷九十四“直显谟阁潘公墓志铭”. 上海: 上海古籍出版社, 2002: 4315.
- [30] 张长秀, 付艳平. 试析水利工程中浆砌石坝灌浆治漏加固技术[J]. 黑龙江科技信息, 2015, (17): 217.
- [31] [宋]李诫 著, 梁思成 注. 营造法式注释[M]// 梁思成全集第七卷. 卷二十六“石作”. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001: 349.
- [32] 容志毅. 中国古代石灰的煅烧及应用论略[J]. 自然科学史研究, 2011, 30(1): 45-54.
- [33] [宋]庄绰. 鸡肋编[M]. 北京: 中华书局, 1983: 16-17.
- [34] [宋]唐慎微 撰, 曹孝忠 校. 证类本草[M]. 卷五. 上海: 上海古籍出版社, 1991: 121.
- [35] [宋]李焘. 续资治通鉴长编[M]. 北京: 中华书局, 2004: 1658.
- [36] [明]宋应星. 天工开物[M]. 杭州: 浙江人民美术出版社, 2013.

- [37] [明]李时珍. 本草纲目[M]. 第九卷“石灰”. 清顺治十二年刻本.
- [38] [明]徐光启 著, 石声汉 校注. 农政全书校注[M]. 卷二十“水利”. 上海: 上海古籍出版社, 1979: 506.
- [39] [宋]朱熹. 家礼[M]. 卷四“丧礼·作灰隔”. 四库全书-经部-礼类-杂礼书之属.
- [40] [宋]张津, 等. [乾道]四明图经[M]. 卷十“重修它山堰引水记”. 清咸丰四年刊本.
- [41] [宋]魏岷. 四明它山水利备览[M]. 卷下“重修增它山堰记”. 四库全书-史部-地理类-河渠之属.
- [42] [元]脱脱, 等. 宋史[M]. 北京: 中华书局, 1985: 9886.
- [43] [宋]苏轼. 苏轼文集[M]. 北京: 中华书局, 1986: 541.
- [44] [清]沈定均. [光绪]漳州府志[M]. 卷之六“广济陂”. 清光绪三年刻本.
- [45] [明]黄促昭 纂. [弘治]八闽通志[M]. 卷六十八“颜唐臣”. 明弘治刻本.
- [46] [清]胡天游. 石笥山房集[M]. 卷五“伐石志”. 清咸丰二年刻本.
- [47] 段鹏琦, 杜玉生, 肖淮雁. 河南巩县宋陵采石场调查记[J]. 考古, 1984, (11): 980-985.
- [48] [宋]岳珂. 禁止坟山凿石省札二[M]// 岳珂 编, 王曾瑜 校注. 鄂国金佺粹编续编校注. 北京: 中华书局, 1989.
- [49] [宋]杜绾 著, 寇甲, 孙林 编著. 云林石谱[M]. 卷上“常山石”. 北京: 中华书局, 2012: 40.
- [50] [宋]曾孝广. 永泰陵采石记[M]// [清]王昶. 金石萃编. 经训堂藏板.
- [51] [宋]曾孝序. 二陵采石记[M]// [清]王昶. 金石萃编. 经训堂藏板.
- [52] [宋]岳珂. 禁止坟山凿石省札一[M]// 岳珂 编, 王曾瑜 校注. 鄂国金佺粹编续编校注. 北京: 中华书局, 1989.
- [53] [宋]祝穆 撰, [宋]祝洙 增订. 方輿胜览[M]. 北京: 中华书局, 2003: 163.
- [54] [宋]陈世崇. 随隐漫录[M]. 北京: 中华书局, 2010: 48.
- [55] [宋]李觏. 李觏集[M]. 北京: 中华书局, 2011: 137.
- [56] 程民生. 论宋代的流动人口问题[J]. 学术月刊, 2006, (7): 136-143.
- [57] [宋]叶适. 习学记言序目[M]. 北京: 中华书局, 1977: 273.

Masonry Technology of Water Conservancy Projects in Southeastern China in Song Dynasty

Xie Zhifei^{1, 2}

(1. Institute for the History of Nature Science, CAS, Beijing 100190, China;

2. School of Humanities, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper studies the use and progress of masonry technology of water conservancy projects in Southeast China in Song Dynasty from the perspective of technology history and the historical perspective of compound ecosystem. First of all, one of the changes in water conservancy projects' materials in Song Dynasty was that stone gradually replaced wood and earth, and stone structures became more and more the key components of water conservancy projects. Second, people used masonry technology and woodworking technology together. When constructing the foundation of a dam, people chose woodworking technology to deal with soft soil, and sometimes they chose masonry technology; the choice of technology was not only restricted by natural conditions, but also by socio-economic conditions as well. Third, the widespread use of lime mortar reflected the process of masonry technology. Finally, the huge demand for stone materials in water conservancy projects promoted people to improve the stone mining technology, and it also attracted a large number of laborers to engage in quarrying activities. What's more, the quarrying industry provided sufficient stones for water conservancy projects.

Key Words: Song Dynasty; southeastern China; water conservancy projects; masonry technology; woodworking technology