

## 第五章 水利管理与法规

### 第三节 技术分工与水利定额计算

水利管理的进步表现在水利专业分工的细化和科学的水利定额计算上。

#### 一 水利专业人员的分工与培训

##### (一) 水利专业分工

水利工程技术的进步也反映在专业技术人员的出现和分工的细化。最迟汉代已有水利专业技术工作，相关人员称作水工。例如：在修建长 300 多里的关中漕渠时曾“令齐人水工徐伯表”<sup>①</sup>，由于漕渠开挖的关键技术是设计和控制漕渠坡降，以适合行船，因此，特别标明由徐伯进行施工测量和放线，时间是在西汉元光六年(前 129)。徐伯的职称是水工。又例如，太始二年(前 95)齐人延年为解除黄河下游决溢的危害，曾建议在今山西河曲一带将黄河向东改道，径直穿过山西北部入渤海。实行这项改道规划需要“案图书，观地形，令水工准高下”<sup>②</sup>，也是首先依靠专业技术人员进行水利测量。同年贰师将军李广利领兵攻伐大宛(在今费尔干纳盆地)，其时探知“宛王城中无井，皆汲城外流水，于是乃遣水工徙其城下水空(一作亢)，以空其城”<sup>③</sup>晋人徐广注解，这是将水源河改道，以令城中渴乏。执行这一任务的还是专业水工人员。可见，西汉时期，水工已是流行的专业技术工种。不过水工内部的分工尚不细致。

至迟在明代，水利工程内部专业分工已较细密，例如万历三年

(1575)在进行京杭运河的泇河改线规划时,主管官吏傅希摯曾“遣锥手、步弓、水平、画匠人等,于三难去处逐一踏勘”<sup>④</sup>,其分工是锥手负责地质勘探,步弓是丈量,水平是高程水准测量,画匠是绘图。这只是涉及规划的专业人员,而工程施工中的工种划分更多一些。专业分工的细致程度,从一个侧面反映出技术进步。

## (二)水利教育与培训

水利工程与水关系密切,其技术有别于一般建筑和土木工程,因此,较早就有过专业技术培训的记载。

《管子·度地》就曾透露出在战国时期已有水利教育端倪。“除五害之说,以水为始。请为置水官,令习水者为吏”<sup>⑤</sup>,建议由学习过水利工程的技术人员任水官。西汉末年对于黄河水流挟沙运动规律有明确阐释的张戎,就曾专门学习过水利技术,东汉初年著名学者桓谭说:“张戎,字仲功,习灌溉事。”<sup>⑥</sup>对提出黄河下游开辟多条尾闾分别入海的韩牧,桓谭说他主要技术特长是“善水事”<sup>⑦</sup>,可能也有过技术培训的经历。西汉年间越人长于水利技术已有声名。当时曾拟引黄河水灌溉山西西南部农田,由于黄河主流摆动,引水失败,后将此地渠田授予越人,并优惠以较低的田税。唐代司马贞解释以渠田授越人的道理时说:“越人徙居者习水利,故与之。”<sup>⑧</sup>越地百姓熟习水利,至少是世代相传承袭。

① 《史记·河渠书》,二十五史河渠志注释本,第6页。

② 《汉书·沟洫志》,二十五史河渠志注释本,第23页。

- ③ 《史记·大宛列传》卷 123。
- ④ 《行水金鉴》卷 121，国学基本丛书本，第 1762 页。
- ⑤ 《管子·度地》，诸子集成本，第 304 页。
- ⑥，⑦ 《桓子新论》，四部备要本，第 10 页。

有记载的正规水利技术教育最早开始于北宋中期，泰州人胡瑗是著名学者，被范仲淹推崇，后任湖州府学教授。所教授的专业有经义和治事两门。其中“治事则一人各治一事，又兼摄一事。如治民以安其生，讲武以御其寇，堰水以利田，算历以明数”<sup>②</sup>，他倡导的教育制度和学科分类，在庆历中(1041~1048)被仁宗所看重，“诏下苏湖取其法，著为令”<sup>③</sup>，其中特设堰水利田的水利科。此后，苏湖水利盛行，与胡瑗的设学不无关系。

元初大科学家郭守敬也曾有水利专学。郭守敬祖父郭荣即精于算术、水利。及郭守敬渐长，遂使其就学于邢台紫金山著名学者刘秉忠(后主持元代北京城设计)。中统三年(1262)，同是邢台著名学者的张文谦向忽必烈推荐郭守敬说：“守敬习水利，巧思绝人”<sup>④</sup>。在被元世祖召见时，郭守敬面陈水利六事，受到高度评价。可见当时紫金山学派中也设有水利专科。

清代光绪三十四年(1908)永定河曾开办河工研究所，培训河工技术人员。当年规定，除 40 岁以上较熟悉河工技术者外，其余人员分期培训，每期一年，每年 30 人。宣统二年(1910)山东巡抚孙宝琦也曾开办河工研究所，“招集学员，讲求河务，原为养成治河人才。如

设厅汛，则此项人员有毕业资格即可分别试用”<sup>⑤</sup>。1915年北洋政府水利局总裁张謇也曾为导淮培养技术人才，在江苏高邮设“江苏河海工程测绘养成所”，是水利测量专科学校，分科愈加细致。

## 二 施工定额管理

预估工程量大小以及所需经费和工期，必须对施工人员的劳动定额有相应了解和规定；有了定额，也便于对工人进行检查，以奖勤罚惰。

### （一）施工定额指标

《管子·度地》谈到对服劳役工人的组织：“令曰：常以秋岁末之时阅其民，案家人，比地定什伍口数，别男女大小，其不为用辄免之，有锢病不可作者疾之，可省作者半事之，并行以定甲士当被兵之数，上其都。”<sup>⑥</sup>其中，将劳力一般按男、女、大、小分别等级；根据特殊健康状况按不能工作、有疾病进行区别，并再分作免劳役和半劳役。具体鉴别的尺度是什么？根据秦代仓律的规定：健康人身高达到五尺二寸的都要服劳役，其中男人身高不满六尺五寸，女人身高不满六尺二寸者为小<sup>⑦</sup>。这是区别大、小工的标准。多大年纪的可以免劳役呢？秦代规定有勋爵者56岁以上免劳役，没有勋爵的普通人60岁以上可免<sup>⑧</sup>。

① 《史记·河渠书》，唐·司马贞索隐。

②，③ 清·黄宗羲：《宋元学案》卷1，安定学案，四部备要

本，第 25 页。

④ 《元史·郭守敬传》卷 164。

⑤ 《再续行水金鉴》卷 147。

⑥ 《管子·度地》，诸子集成本，第 304 页。

⑦ 睡虎地秦墓竹简，文物出版社，1978 年，第 49 页。

⑧ 睡虎地秦墓竹简，文物出版社，1978 年，第 53 页。据《汉旧仪》：“秦制二十爵，男子赐爵一级以上，有罪以减，年五十六免。无爵为士伍，年六十乃免老。”

除组织工人之外，还要按不同工种和工人数量进行劳动工具和生活器具的配置。《管子·度地》记载，对于从事水利施工的人员，除按以上规定区别登记劳动力数量之外，还要由“水官”会同乡镇等检查与服役人数相应的工具配备，其中“笼(土筐)、锸(铁铲)、板(筑墙模板)、筑(夯)各什六(每十人各备六件)，土车什一，雨 443 间(避雨帐篷)什二，食器两具(每人都有)”<sup>①</sup>，此外还要另外预备相当数量，以备替换劳动时损坏的工具。

为加快劳动进度，尤其对于筑堤、挖河等需要大量劳动力的工种，为了更好地发挥大家的作用，在工地施工之前，先要做出一个标准的样板断面和进行施工放线，这种样板面每一里应有一个，以便随时参照，保证施工进度和质量。《周礼·冬官·匠人》记载：“凡沟必因水势，防必因地势……凡沟、防必一日先深之以为式，里为式，然后可以傅众力”<sup>②</sup>田讲的就是这个意思。

至迟在秦代已有施工定额的规定，1975年在湖北云梦睡虎地发掘的秦墓中，出土有201支简，其中在摘引秦代法律条文的简中，有多条涉及施工管理定额<sup>③</sup>，例如：

(1) 冬季施工，每三天的定额相当于夏季的两天。大约是考虑到冬日昼短<sup>④</sup>；

(2) 各工种之间定额的换算：辅助工种的两人定额相当工匠一人。女工2人定额相当工匠一人，小孩五人相当工匠一人；

(3) 第一年开始工作的新工人，其定额是一般定额的一半，第二年则相等；

(4) 估算定额和工程量，要由主管官吏和工匠共同执行。估算不实者论处。营建宫室时，对所筑的墙要有一年担保期；

(5) 筑墙用的模板损坏了要注销，对所使用的木柱要由专人标注是否符合用料规定，标注有误者受罚。

① 《管子·度地》，诸子集成本，第305页。

② 《周礼·冬官·匠人》，十三经注疏本，第933页。汉唐经学家郑玄和贾公彦在《周礼注疏》中将“以为式”解释为挖掘样板断面，以度量工程量和制定施工计划，即郑玄所说“程人功也”。贾公彦进一步说：“程人功者，将欲造沟防，先以人数一日之中所做尺数，是程人功法式。后则以此功程，赋其丈尺步数。”不过，从水利施工技术角度来看，这里存在两点疑问：其一，估算劳动定额和工程量应是先期在规划设计阶段的事，而不可能在工人已齐集工地，即将全线动工的前一天才仓促行事。此点在春秋时期城建实际工作中已是如此。

例如《左传》宣公十一年(前 598)孙叔敖在修建沂城(一说在今湖 j[鄂城)时,就曾预先计算工程量、工期、经费、施工器材和物料、安排料场以及民工用粮等。又如昭公三十二年(前 510)士弥牟主持修筑成周(今河南洛阳)时,同样是在做好如上规划,报请主管部门批准后,才命“韩简子临之”,去负责组织施工。水利工程与筑城相似,只是范围更大,施工组织更困难,因而更需要事先周密计划,如前引《管子·度地》所记载的。其二,郑、贾注疏还认为,此句中“里为式”中的“里”应为“已”字,原因是二字读音相近,“里读为已声之误也”。贾公彦进一步解释判断致误的道理在于:“里则于义无取,为已则与义合,故从已也。”不过,若如此,则后一个“里为式”与前一个“以为式”就有重复之嫌。笔者以为,“里为式”是有别于“以为式”的确切含义的。“式”是样板断面无疑,而其用途并非估算工程量,而是规范施工的需要。这是与郑、贾注释分歧关键之所在。由于水利施工战线长,要做到全线断面、高程一律达到设计要求,就要每隔一里事先做一个样板断面。在有了样板之后,才会产生“然后可以傅众力”的好处。傅通敷,布陈、安排的意思。与《荀子·成相》“禹傅土,平天下”之傅同,即组织广大民工同时施工,加快进度。“以为式”是做样板,“里为式”是强调样板间应有适当距离,不能过长过短。如将“里”改作“已”,不仅重复,而且湮没了施工技术中的重要经验。

③ 据考证,这批简文有的明确写于秦始皇统一之后,写得早的则可能属于战国末期。见《睡虎地秦墓竹简》,文物出版社,1978年,第3页出版说明。以下各条内容见该书之第73,74,75,78,80,139页。

④唐宋年间对于不同季节计工的长短规定又较细致。《唐六典·将作监》：“凡功有长短，役有轻重。凡计功程者，四月、五月、六月、七月为长功；二月、三月、八月、九月为中功；十月、十一月、十二月、正月为短功”。《河防通议·功程》解释这一规定的道理是：“夏至日长，有至六十刻者。冬至日短，有至四十刻者。若一等定功，则枉弃日刻甚多。《唐六典》称功以十分为率，长功加一分，短功减二分……夏至后至立秋，自巳正至未正两时，放役夫憩息。”

## (二) 土方施工定额

保存在《九章算术·商功》中的一些土方施工定额可看作是工程实际的规定，时间大约在东汉初年①。其中对挖土、壤土、坚筑土的比例估算大致是：“穿地(平地挖土的体积)四，为壤(挖出的土料体积)五，为坚(夯筑的土体)三”②。这一比例对于城墙、土墙、筑堤、挖沟、挖护城河和开渠的工程量估算均大体适用。

对于每个工人的劳动定额，《九章算术》记载为冬季修筑城墙、土墙、堤防，夯筑土方 444 立方尺为一功。挖沟定额是：“春季人功为 766 立方尺，如果包括挖土在内，则应定功为 612 立方尺。夏季人功为 871 立方尺，如果包括挖土的工作量，而土料又有较多的沙砾石时，定功则应为 232 立方尺。而在多雨的秋季开挖渠道，则其人功值定为 300 立方尺③。”

如若取土料场距筑堤施工地点较远时，工人担负运输土料的定额是：如使用容积为 1.6 立方尺的土筐，则“秋程人功行五十九里

半”④。如果堤防较高，需搭建“棚除”（跳板）时，由于跳板上行走不便，则规定在跳板上行走 20 步，相当于平地行走 70 步的定额。如果在上下困难的跳板上，其定额换算还要另减十分之一。宋、元之间的《河防通议·功程》对于一个功所应完成的工作量也有记载。例如：“开挑塞河：开挑装担，有泥泞以一百五十(立方)尺为功。无泥泞以三百(立方)尺为功。”

“打筑堤道：开掘装担，以二百(立方)尺为功(地里远近，别计拆除)；打筑以八十(立方)尺为功”。按场面工作条件优劣和挑运距离以及工种的不同，分别有相应的工作定额⑤。

明代河工上的估算定额比较简便，例如嘉靖十五年(1536)总理河道刘天和制定的定额是根据实际测算的平均值。其中筑堤长宽各一丈，每夫就近取土的定额是筑高 6 寸，取土稍远的 5 寸，最远的 4 寸。如取土场位置较低，定额再减半。挖河定额是，每夫挖河一平方丈，挖深一尺为一工。泥水中定额减半。全由水中捞取者减十之七八⑥。

### (三) 料物价格

清代对河工用料管理细致而死板，或许是为防止河官虚报经费之故。例如海河的五条支流料物单价标定在乾隆五年(1740)颁行的《五道成规》。它是由直隶河道总督主持制定的河工用料的规格和单价。不仅规格不同，单价有异，而且不同用途(与料物质量有关)单价也有差别。工人工资按工种区分。不同河道或河段，单价又有不同。此外，

对物料验收、保管和消耗也有专门的记录和核查办法⑦。

①钱宝琮，《九章算术》提要，《算经十书》，中华书局，1963年，第83页。

②钱宝琮，《九章算术》提要，《算经十书》，中华书局，1963年，第159页。

③钱宝琮，《九章算术》提要，《算经十书》，中华书局，1963年，第160~162页。

④钱宝琮，《九章算术》提要，《算经十书》，中华书局，1963年，第171页。汉代一尺约合今23.1厘米，1.6立方尺约合0.2立方米，一般沉积土容重约1.6，扰动以后降为1.2，则一担(两筐)土约重50千克。

⑤对于施工定额概念的理解也有不同，有的不以单一工种定额计算，而以筑堤实际方量各工种综合核算，“秋程人功，每名自开运积筑墟坚，共积常六十(立方)尺。筑堤至半，为棚道取土，上下功减五分之一”，参见南宋秦九韶：《数书九章》卷13，商务印书馆，1937年，第341页。

⑥ 明·刘天和：《问水集》卷1，水利珍本丛书本，第18页。

⑦清乾隆五年工部颁行《直隶五道成规》。

築堤		填壩		壓埽		土方		價值		圖	
近處	乾土	離堤	十五丈	五十丈	堤根有	水邊取	乾土	十丈至	一百五	十丈	三丈至
每方	每方	每方	每方	每方	每方	每方	每方	每方	每方	每方	每方
閒月緩工 銀三錢五分	閒月緩工 銀三錢四分										
遠處乾土	五十丈以	外至一百	丈近處	土十五丈	堤根有	水邊取	淨土五	十丈至	一百五	十丈	三丈至
閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分	閒月緩工 銀三錢七分
遠處	海土	五十丈	外至	一百	隔堤	隔河	乾土	二百	每方	三百	三百
閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢	閒月緩工 銀三錢
附刻嘉慶十二年 奏准加增 築堤挑河 土方價值現行則例 山野廳五項用土俱於未啓填之先積土備用其五項以外堤工部議每方價銀五錢											

图 5-6 筑堤、填坝、压埽土方价值图

(选自《安澜纪要》卷下)

河工专著中也载有定额。《安澜纪要》中有土方价值一篇，收录的是乾隆十九年(1754)所定的“土方价值八则”，其中对于土、水土、

淤土、稀淤土、瓦砾土、小砂礓土、大砂礓土、鬲捞土等土方价格分类规定。另收录有嘉庆十二年(1807)制定的“筑堤、填坝、压埽土方价值图”，对于不同远近和地形下的取土价格也有不同规定<sup>①</sup>。见图5—6。

### 三 工程计算的进步

古代水利工程以土方工程量最大，因此，无论在规划、设计和施工过程中都离不开方量计算。工程实践促进数学计算的进步。反过来，数学的进步又促进了工程建设和管理的提高。中国传统数学，大都以分类解决生产实际问题为体系，显示了工程和数学之间的密切关系<sup>②</sup>。工程计算进步大体可分为汉唐、宋代和清代几个阶段。

#### (一) 以《九章算术》为代表的数学工程应用成就

三国年间赵君卿注释的西汉《周髀算经》<sup>③</sup>是古代著名算书，其中提出的勾股弦定理及其在测量学上的应用已见本书第二章第三节。

魏晋年间刘徽注解的《九章算术》是编定于东汉初年的古代最重要的数学经典。其中关于体积(商功)的计算无疑是大量工程实践的总结。计算例题中的工程类型有城墙、土垣、护城河、渠沟、仓和窖等。其中包括：已知建筑物尺寸，求解工程量和所需工日；已知建筑物体积，反求建筑物或长或高的某一个尺度；以及已知工程量，计算不同季节、劳力等级以及不同土质情况下所需人工数量等等。体积形状多种多样，有等腰形直棱柱体，例如平坦地形上的堤或沟，有正四棱柱

的城堡、正圆形城堡、正四棱台、底为直角三角形的直棱柱、正圆台、四面都是直角三角形的四面体、楔形体、方锥体、圆锥体等。

由已知建筑物尺寸求体积的例题，如《九章算术·商功》第4题：“今有堤，下广二丈，上广八尺，高四尺，袤一十二丈七尺，问积几何？”见图5—7。答案是7112尺。第三问是，如此体积按定额规定在冬季施工需要多少工人。答案是16人。

由已知建筑物体积计算高的例题，如第27题：“今有仓广三丈，袤四丈五尺，容粟一万斛，问高几何？”答案是：2丈。

又如第28题：“今有圆困，高一丈三尺三寸少半寸，容米二千斛，问周几何？”，答案是：5丈4尺。

由已知建筑物尺寸求其体积，再求用工人数的例题，如第22题：“今有冥谷(上大下小的菱形地窖)上广二丈，袤七丈。下广八尺，袤四丈。深六丈五尺，问积几何？”求得体积之后，接下来的第2问是：“载土往来二百步，载输之间一里，六人共车，车载三十四尺七寸，问人到积尺(每人每天完成土方量)及用徒(工人)各几何？”答案是：用徒258人。

《九章算术》的一些求解方法是将图形变换后，使原来的图形更加简单而直观。见图5—7。

①清·徐端：《安澜纪要》卷下。

② 与我国传统相比较，以欧几里德《几何原奉》为代表的古希腊数学体系，则有较高的理论性和逻辑性。我国以工程实用为特长，后者以系统理论为特点。见薮内清[日]《中国·科学·文明》(中译本)，中国社会科学出版社，1987年，第44页。

③ 成书至迟在公元100年以前，见郭书春、刘钝《算经十书》，辽宁教育出版社，1998年，出版说明。

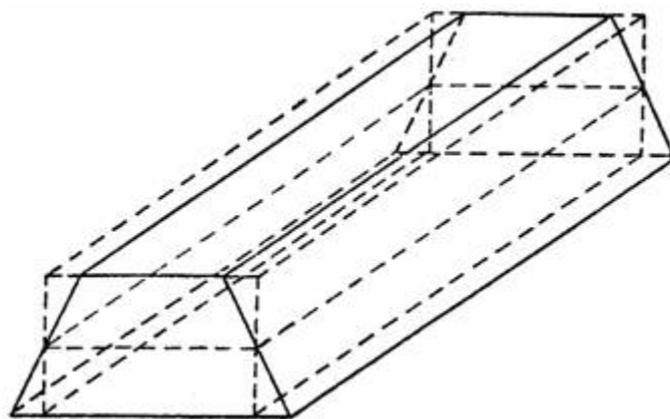


图 5-7 等截面堤防体积分解计算图示

这一图形分解计算的方法后代继有发扬。例如，唐代初年王孝通所著《缉古算经》，就是把斜坡地形上堤防体积的计算方法，分解简化为两部分体积之和，再利用《九章算术》的计算方法分别求解再相加。如图 5—8 所示。其中上部为梯形等截面棱柱体，下部为楔形体(《九章算术》称之为“羨除”)<sup>①</sup>。从而使本来要列出一个 3 次方程求解的问题，经过几何图形变换，使计算简化和直观。

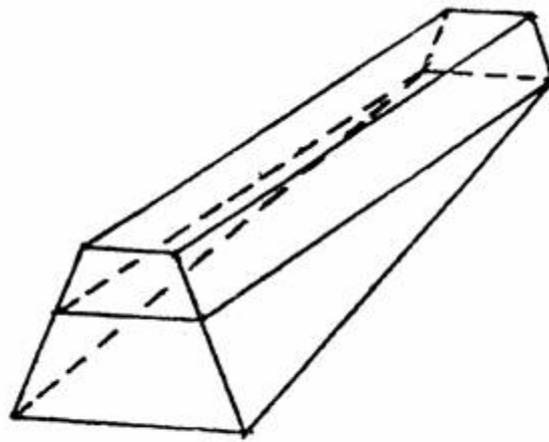


图 5-8 斜坡地形上变截面堤防土方分解计算图示

## (二) 河《防通议》的工程计算成就

宋代的数学成就集中在秦九韶(1202~1261)所著《数书九章》中,成为继《九章算术》之后古代数学又一代表作。而这一时期数学在水利工程中的应用,则集中体现在《河防通议》一书中。

《河防通议》是宋、金、元水利工程技术规范性著作。最初的作者是沈立,成书于庆历八年(1048),后失传。现存本为元代沙克什于至治元年(1321)根据当时流行的北宋汴本和金代都水监的监本整理而成,全书共分作6门:即第一治河议论:介绍治河历史、堤埽利病、水文、土脉和河防规章制度;第二制度:介绍开河、闭河、测量、修岸、措埽等方法;第三料例:是有关修筑堤岸、闸坝、捲埽等的用料和计工办法;第四功程:有关修筑、开掘、砌石岸、筑墙和采买物料的规格和计算;第五输运:是关于船只装载量、运输计工、物料体积及土方劳动定额的计算方法;第六算法:有关各种料物及建筑物构件体积及物料配置的计算。

《河防通议》是我国古代数学在水利工程的应用方面最为丰富和系统

的文献记载。

近人对《河防通议·输运》中的历步减土法有深入研究<sup>②</sup>。历步减土法是宋元时期堤防施

①参见郭涛，数学在古代水利工程中的应用，农业考古，1994年，第1期；郭书春，河防通议算法门初探，自然科学史研究，1997年，第3期。

②郭涛，历步减土法浅释，黄河史志资料，1990年，第1期。

工中通行的计算土方劳动定额的方法，提出了一套科学的计算土方量和运输距离之间关系的计算公式，目的是计算出一个工在各个取土距离范围内的实际功数，以使每个工实际做功数保持大致相等。历步减土法所得计算结果表明，按此法计算功量可以使工人在不同运输距离内做功数量基本相等。依据实际计算结果所绘出的不同距离上每个工人实际功数关系曲线，如图5-9。由曲线可以看出，取土距离在100步(约相当70米)以远曲线就开始变平，在300步以远就基本平直，即功为常数。也就是说，不管运距远近，通过调整每工完成的运输土方量，而使每个工人付出的劳动量相当。

历步减土法对于挖土、夯土、运输三个工序工人数量的合理配置，也有恰当的计算方法。如果取土距离远，运土往返时间长，因而在同一时间内，挖土和夯土的人数就需要和较多的运输工人相配合。计算结果成为合理配置各工种人数的依据。

历步减土法表明宋元时期水利施工管理已有科学的量化标准。对于堤防、运河等大规模土方作业，依据数学计算进行施工管理，表明管理水平的提高。

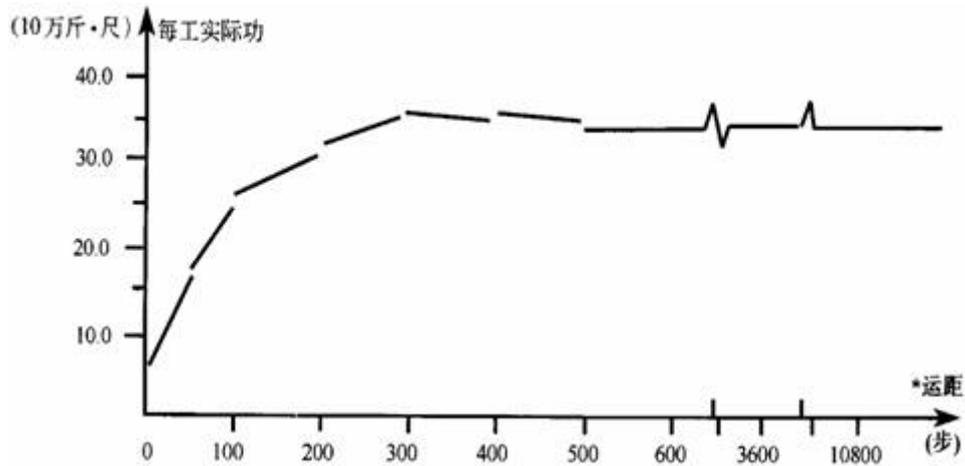


图 5—9 历步减土法计算的不同运距下功数变化曲线

宋代规划施工定量管理的精度表现为如下事例。据历史记载：宋太祖时，陈丞(承)昭主持开挖惠民河的施工①，他“量河势长短，计其广深。次量锛之阔狭。以锛累尺，以尺累丈。定一夫自早达暮合运若干锛，计凿若干土。总其都数合用若干夫，以目奏上”，至工程完成之日校核，他所计算的总用工数只比实际多了 9 夫②。

### (三) 徐光启倡导数学应用与清代河工计算

徐光启(1562~1633)的科学成就是多方面的，其数学成就更加突出。他尤其着力倡导数学在工程上的应用。在《同文算指序》一文中，

他指出：“算术者工人之斧斤寻尺，历律两家旁及万事者，其所造宫室器用也。此事不能了彻，诸事未可易论。”<sup>③</sup>万历三十三年(1605)他在所撰《漕河议》中强调指出数学应用的重要，认为无论研究当前水利形势或者监测日后演变，没有数学计算是不行的。为了做好治河规划，应该对每一条河从源至尾进行测量，以明了其宽窄深浅，此河与相邻之河的距离和高差。对于与河流相关的堤防和湖泊也相应测量，在此基础上制成图册，颁发至各有关部门，由此“一可得各河容受吐纳之数，二可得堤防所宜增卑倍薄之数……”<sup>①</sup>。在了解河流现势之后，还要对此后的演变随时进行监测，据以提出应该修补的工程，并可预见未来出险的重点地区。他说，工程测量和计算是“师于地，不听于天，向所谓可得而知之术也”<sup>②</sup>。《漕河议》写作之前，万历三十一年(1603)上海曾有疏浚河道之举。徐光启就曾为主管官员撰《量算河工及测验地势法》一文，详细列举河道疏浚的一应具体实施办法以及测量之后的数学计算，“算定勾几何，股几何，弦几何。量取数处，便见何等勾股，方得免坍”<sup>③</sup>。

<sup>①</sup>据《宋史·河渠志四》，陈承昭开浚惠民河事在乾德二年(964)。施工地段是惠民河上游的溪水。

<sup>②</sup>宋·释文莹：《玉壶清话》卷3，笔记小说大观本，第2册，第24页。

<sup>③</sup>《徐光启集》卷2，中华书局，1963年。

<sup>①</sup>，<sup>②</sup> 明·徐光启：漕河议，《明经世文编》卷491，中华书局，1962年，第5431页。

③ 《农政全书》卷 14，上海古籍出版社，1979 年，第 353 页。

清代河工施工计算在《修防琐志》中有详细说明。例如在“估略”卷中，记述砖石工(做石闸的用料)标准、地基桩木估算、拦水越坝用料估算、埽工用料估算等。

在“开销”卷中详列诸种工料及用工的报销办法及经费定额等。

在“堆垛”卷中详列各种建筑材料的堆积办法及体积计算，例如各种形状的柴垛、草垛、土牛、米囤的体积。