

第一章 传统工程技术

传统工程技术指都江堰创建以来，人民长期就地取用竹、木、卵石作工程材料，捆绑成三角鼎足锥形的杓槎，编成装卵石的竹笼，干砌卵石堤埂，淘挖河中淤砂和木桩与木羊圈

等工程技术。其优点是就地取材、施工方便、技术能为群众掌握。两千多年来，应用这些技术截流分水、筑堤、护岸、抢险堵口、整治河渠、保护桥闸，积累了十分丰富的经验。

第一节 杓 槎

杓槎主要用于内、外江进水口和其他堰口的截流，便于渠首和灌区岁修工程。有时也用来调剂流量，抢险堵口，挑流护岸，或搭交通便道等。

一 杓槎的用途

（一）岁修截流

每年冬春枯水季节，都江堰渠首和内、外江灌区河渠均要进行岁修。内、外江进口处江面宽、流速大、水深 2.5~4.5 米，在截流和岁修时间短、工程量大的情况下，用杓槎截流简单易行，操作方便。完成截流和岁

修工程任务后，放水时撤除杓槎一砍即倒，木料可再度利用，是一种非常经济的截流工程。

（二）调剂流量

当内、外江流量未达到灌区分水比例时，在没有闸门控制的情况下，采用下杓槎的办法调剂水量，虽不够准确，但能基本达到要求。灌区内干、支渠调剂分水量时，也有采用杓槎办法的。

（三）挑流护岸

在河岸处于水势顶冲地段，取上

游适当位置用“支水杓槎”挑流，可以调整水流方向和消减部分水流冲势，达到护岸防冲的目的。支水杓槎与截流杓槎不同之处在于只搪捶笆，不倒泥埂。必要时，还可以用杓槎临时抢险堵口，以及护桥、护堰；在流水河道内用杓槎临时架搭便桥便利交通等。

二 杓槎的结构

杓槎结构主要有支架部分和挡水部分：

（一）支架

用竹绳将三根木料（称杓脚料）捆扎成三角鼎足锥体形。杓脚料梢径为20~30厘米，长6~9米，最好用硬质、泡湿的木料，取其沉重易于入水。迎水面两根脚料形成的斜面称“罩面”，背水面一根称“箭木”。三根脚料的上端名“杓脑顶”。在脚料1/2高度加捆三根横木名“盘杠”，以固定杓槎为三角锥形状。盘杠用杉木做，梢径15~20厘米，长3~5米。盘杠上加捆横木形成“压盘”，以便在压盘上放竹笪、装卵石，增加杓槎的稳定性，防止为水的浮力和推力所倾覆。

（二）挡水部分

在杓槎罩面上依次安放檐梁、签子、花栏、捶笆、竹席和填粘土，这样层层加密的办法，做到断流、闭气。

檐梁是捆在杓槎罩面上的横梁（称顺木），梢径10~20厘米，长4~7米，檐梁多少视水深而定，根据承受

的水压力大小，呈上疏下密，上细下粗方式安放。上面一根高出水面0.5—1.0米的顺木称“面子”，与水面齐平的顺木为“浮水”，沿河底一根顺木名“海底”。檐梁上竖放签子（木）间距20厘米。签子外面用白甲竹编成的方格花栏（网格10×10厘米）。花栏外面铺放竹片编成的竹捶笆，在竹捶笆上再铺竹席，竹席外填筑粘土泥埂。泥埂顶宽0.8米，高出水面0.5米，为增加泥埂的稳定性，此埂土料内加填20%（体积比）的卵石。（见图6-1）

下深水杓时，注意檐梁变形断裂，须在背水面加设“撑子”（木）支柱，一般设两层：上排撑在与上游水位齐平的位置，下排撑在与下游水位齐平处。撑子数量多少，视水深和流速而定。

杓槎在河中的排列间距，根据水深和流速决定：水深流急，间距宜小，有时相邻杓槎的盘杠角需相接；水浅时，杓槎间距可稍大，但杓槎相交（重叠）不得少于一米。一个杓槎称为一栋。一般内江河口需下杓槎60余栋，外江河口需下杓槎50余栋。

三 杓槎的施工

杓槎施工的工序有：备料、捆扎杓槎、下放杓槎、截流措施和管理维护。

（一）备料

杓槎施工需要熟练的技术，都江

堰过去有专业户承包。但使用的竹、木、粘土等材料较多，过去有征用和私人承办“官杓”的办法。建国后木材由国家调拨；水利主管部门采购慈竹制竹绳、捶笆、竹笕、竹篾席；购白甲竹编花栏；就地采集卵石，租地取粘土；另备下杓用的船只及工具。都江堰截流每栋杓槎所需材料，见表6-1。每年河口截流，一次下杓槎需

要木料20~30万公斤。同时又因水的深浅不一，需分别使用不同长短和大小的杓脚料，施工单位根据岁修计划就近选购。

截流所用人工，一般每天出动杓槎工5人，船工5人和普工10人，共20人，可完成下杓槎4栋，安好2栋杓槎的檐梁。每栋杓槎所需人工，见表6-2。

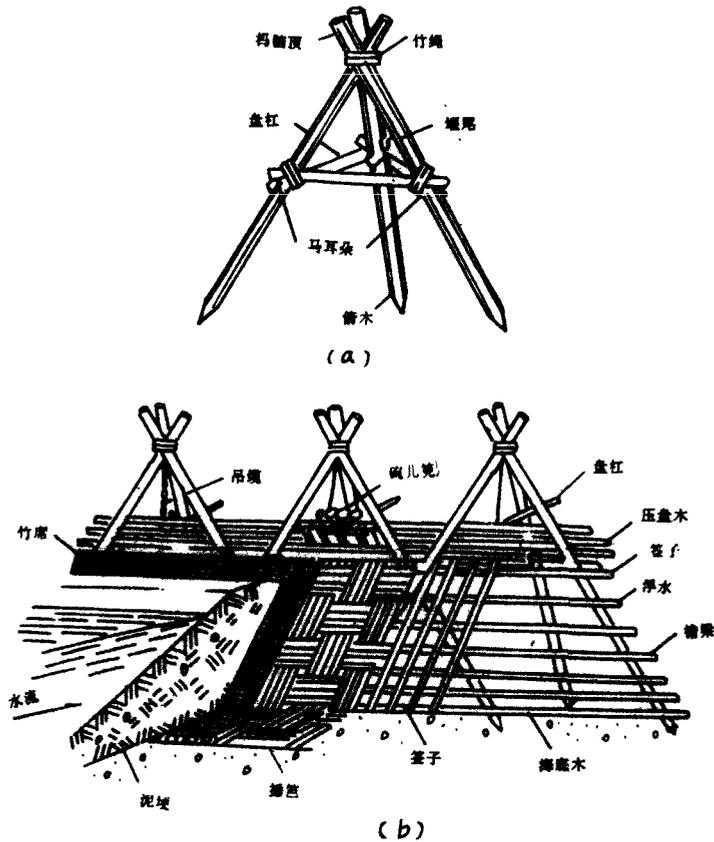


图6-1 杓槎结构示意图

表 6-1

杓槎用料规格表

水 深 (米)		1.5	2.0	3.0	4.0	备 注	
杓脚料	梢径 (米)	梢木	0.13	0.17	0.20	0.20	每栋杓槎用三根脚料, 其中后脚料(箭木)可稍大些
		麻柳杉木	0.24	0.28	0.30	0.30	
	长 度 (米)	4.6	5.5	7.0	9.0		
	间 距 (米)	3.0	4.0	5.0	6.0		
盘杠木	长 度 (米)	2.0	2.6	3.5	4.0	用三根杂木或杉木均可。表中尺寸为杉木梢径, 杂木的梢径可小一些。	
	梢 径 (米)	0.14	0.14	0.2	0.25		
	距河底高度 (米)	1.8	2.5	3.5	4.5		
檐梁	长 度 (米)	4	6	7	7	按上疏下密布置, 在水深流急处应加密。杂木包括签子木和压盘木。	
	梢 径 (米)	0.1	0.12	0.15	0.15		
	杂 木 (公斤)	2000	2500	3000	4000		
牵藤	2 厘米直径 (米)	30	50	70	75	捆扎杓脑顶	
	3 厘米直径 (米)		2	4	4	骑槎缆用	
竹 箴 (疋)		120	140	160	用竹绳	每疋长 4.2 米, 捆盘杠和浮水	
卵石 (立米)		1.0	2	2.5	2.8	装压盘上的碗儿箴	
泥埂 (立米)		40	45	55	60	用粘土或重壤土, 土: 石=5: 1	

表 6-2

每栋杓槎所需人工数

工 种	需 工 数 (个)			备 注
	技 工	普 工	小 计	
绑 杓	4		4	包括放压盘木和竹箴装石
下 杓	11	2	13	
下 檐 梁	1	1	2	
插 签 子	1		1	
梭 压 盘		2.5	2.5	
绑 花 栏		0.2	0.2	
编 搪 捶 笆		0.5	0.5	
倒 泥 埂	1	27	28	
编 牵 藤		0.26	0.26	
编 竹 箴		0.24	0.24	
下 杓 船 工	1.64		1.64	
小 计	19.63	33.66	53.3	

(二) 绑扎杓槎

绑扎杓槎在岸上进行，箭头木受力大，需选坚实较粗的木料。罩面上的上脚料宜稍粗。用竹绳捆杓脑顶 40 圈，用人扳开杓脚料成三角锥形，其底部张开度等于捆绳以下的杓脚木长度。然后在杓脚木全长的中部绑盘杠木以固定锥体形状，每节点捆 8 圈。盘杠木应高出水面 0.5~0.8 米。沿箭木的盘杠木可外伸出 1 米左右长度，以便搭交通桥。

(三) 下杓槎

1. 确定截流堰轴线——截流堰轴线一端接鱼嘴，另一端交上游堤岸或江心洲上。一般宜与水流方向成 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 角，并选在河口的浅滩脊上。通过深水槽处的轴线，可略向上游拱起。轴线的选择直接关系堰身的长度和工程量的大小。在水浅处，也可安装竹笼围堰代替部分杓槎。

2. 船只控制设施——杓槎主要是用船装运至指定地点安放。但岷江坡陡流急，船只定位须在上游约 500 米远的河滩安设拴住船缆的“座筩”（直径 2 米，高 2.2 米，内装卵石 7 立方米），从座筩内穿出顺缆系住船只，船上下移动时，则由船上收放顺缆控制。在座筩与围堰之间，架设 3~5 道跨河横缆，横缆上可挂金属圆环吊住顺缆不与水面接触。（见图 6-2）

3. 安放杓槎——下杓槎的顺序是从下游向上游进行。在水深小于 1

米时，用人工抬运杓槎到指定处安放。水较深时，用截重 8~10 吨的木船运杓槎，注意将杓槎横放在船上，其箭木和上杓脚平放船上，下杓脚朝上，每船可运两栋杓槎。当杓槎运到指定位置后，用竹绳拴住箭木和上杓脚。船工要与下杓工配合好，将杓槎平稳地推入河中，同时使下杓脚落到已下好杓槎的上杓脚，使其互相交叉（见图 6-3）。当投放位置偏离轴线时，可用拴在杓槎上的绳索拉移到正确位置上去。杓槎就位后，立即在盘杠上密铺木条并用卵石压住。水深流急处，在压盘上安置竹筩，内装卵石 1.5~2 立方米，同时用 2~4 股竹绳上系杓脑顶，下绑压盘木，将部分压重传到杓槎顶部，以防止盘杠压断。

4. 截流部件施工——杓槎就位后，檐梁用船运至杓槎罩面处抛下，靠自重或用叉子协助沉放。签子木大头朝下，与水面成 60° 的倾角插到河底，间距为 20~30 厘米。下竹花栏和搪捶笆与竹席均由下向上分段铺放。捶笆和竹席要求下端紧贴河底并外伸 1.0 米，防止漏水；上端露出水面 0.5 米。在倒筑粘土泥埂前，为防止檐梁变形，应在下游打好两层撑木，以加固檐梁。填泥埂是从上游岸边起紧靠罩席倒粘土入水。一般泥埂断面的顶宽 50~80 厘米，边坡系数为 3~4。由于在流水中倒土筑埂，泥土易被冲失，故计算土料应加 30% 的损耗。倒

土过程中，均匀加入土料中 20% 的大卵石，待堆筑至水面以上 50 厘米，再

逐步推进，泥埂由来往运工的脚步自然踏实，不需夯打。

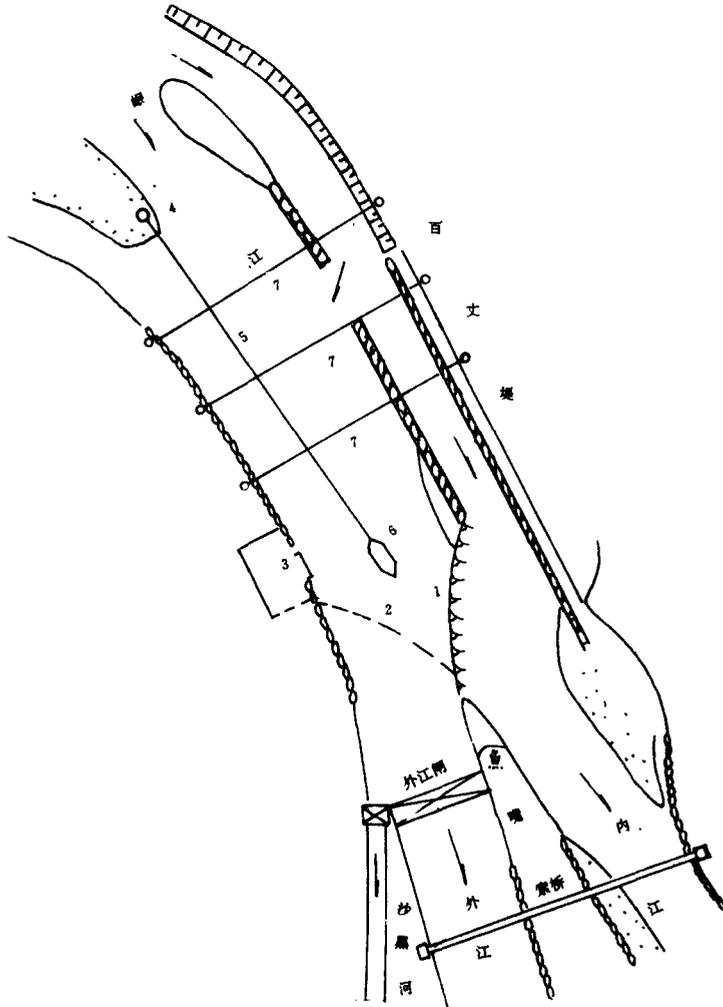


图 6-2 截流杙槎工程布置示意图

- 1—内江杙槎轴线 2—外江杙槎轴线 3—绑杙场和船码头
4—顺缆座筓 5—顺缆（牵藤） 6—下杙船 7—横缆

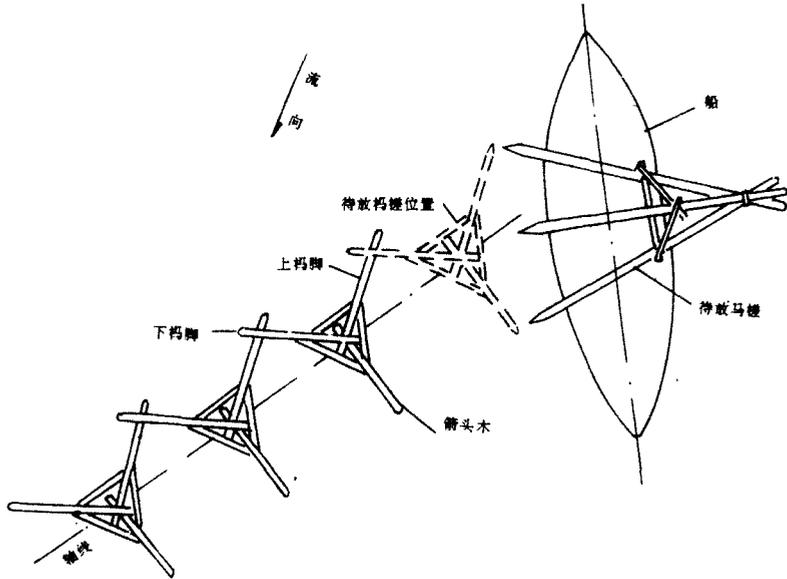


图 6-3 用船下杓槎示意图

5. 杓槎的管理——杓槎围堰建成后应加强管理，主要是防止河底淘空漏水和檐梁、压盘的变形破裂。一旦出现险情，要及时抢救。

6. 杓槎的拆除——杓槎围堰完成截流和调水任务后，应有组织、有计划地拆除杓槎。拆除程序是：依次先拆碗筩、压盘木和盘杠，后拆除撑

子或竹笼，接着砍断杓脑顶的绑绳，用大绳拉倒杓槎，最后清除泥埂。杓槎拉倒后随水流漂走，可在下游组织打捞木料，以供次年再用。回收的杓槎脚料、盘杠木、檐梁、签子须放入水中浸泡，次年利用时，才有一定的强度和重量。

第二节 竹 笼

“破竹为笼，以石实中，垒而壅水”，是都江堰最早采用的治水工程技术之一。相传为李冰所创。汉成帝

时，还成功地应用于黄河堵口工程。历史上，竹笼多用坚韧的白甲竹编制，由政府组织在岷江上游设立竹园

当种植，每年9月砍伐扎筏下运到都江堰渠首使用。后来就近采用慈竹代替。编笼规格要求箴宽三指、眼大一拳，装石坚密。竹笼有多种形式，如蛇皮笼、三角笼、铺盖笼等，可根据需要制作不同型式和尺寸的竹笼，但收方给价均按标准笼(直径0.6米，长10米)折算。

一 竹笼用途

(一) 护岸

用于护岸的竹笼工程有顺笼和搭笼两种做法(见图6-4)。边坡系数以1.0为宜，高度平最高洪水水位，超高部分砌大卵石。一般以使用顺竹笼为宜，各层竹笼宜通缝接头，以适应河底变形。搭笼竹箴接头易拉断，用于较低的河岸。

(二) 支水(丁坝)

常用于河堤的险工段上守点护线，挑开深泓线，以减轻急流对岸坡的冲刷。一般呈下挑形式。在布置中要掌握好方向、位置和长度，否则将影响对岸和自身的安全。

(三) 分水建筑物

1. 分水鱼嘴——鱼嘴形状前低后高、头尖尾宽，底层用横笼，上面用顺笼，嘴尖用围笼。要重视护底工程，常用关门桩和羊圈保护基础。鱼嘴前面埋设几排木桩，以消刹水势和防止漂木撞击。

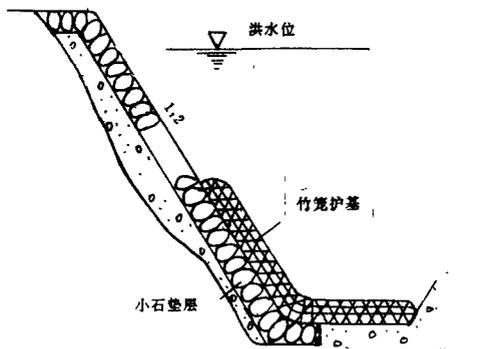


图6-4 竹笼护基示意图

2. 导水坝——坝体矮而宽，以木桩固牢，用于导引河水入干渠口，高度以能引足春耕用水为度，汛期洪水可溢流而过。垒砌方式是底层用横笼，其上堆数层顺笼，顶部用搭笼，其下端适当延长以起护底消能作用。(见图6-5)

(四) 拦水坝

用于堵塞决口或河道溢流等，坝顶不溢流。其构造是底层用横笼，上用顺笼垒砌高出水面，再间隔搭笼控制，增强坝前整体性。

二 竹笼的制作

(一) 编笼

竹材应选两年以上的老竹，剖竹箴时，粗竹6片，细竹4片。编笼时，竹片头尾要颠倒使用，搭头要倒插三个孔眼，笼口竹箴要回插封牢。笼的长度、直径、眼孔尺寸，视流速与装

入卵石大小而定，但要求笼身大小匀称；笼眼成正六边形，大小相等（见

图 6-6），在不同流速下的编笼规格和工料定额详见表 6-3。

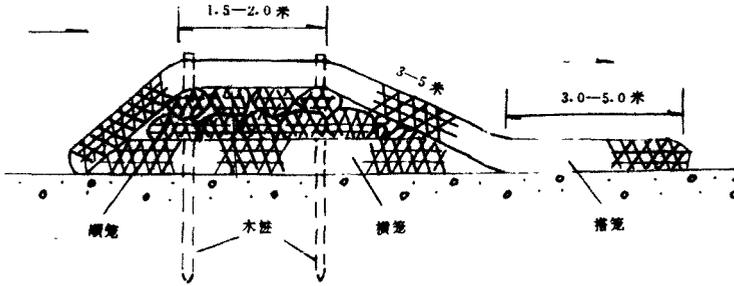


图 6-5 竹笼导水坝示意图

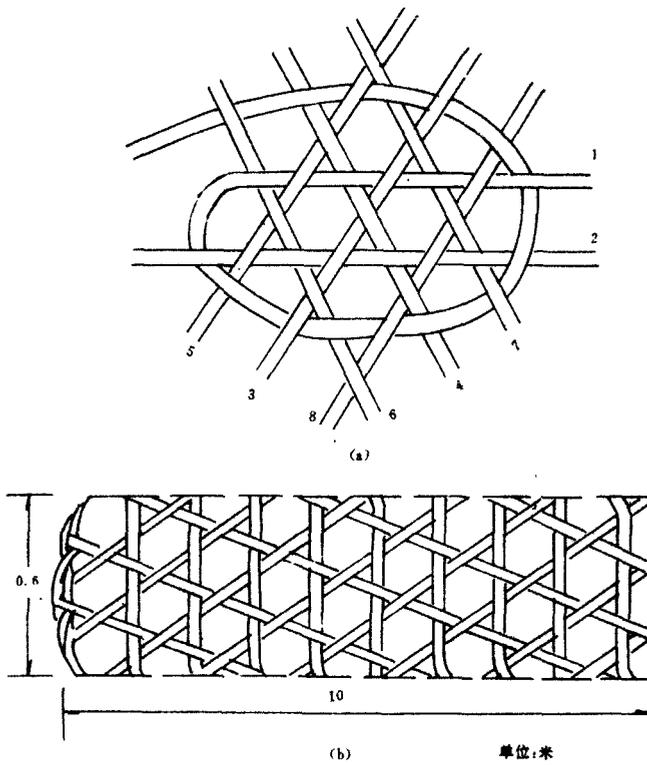


图 6-6 竹笼编制图

(a) 竹笼起底 (b) 竹笼规格

表 6-3

竹笼规格和工料定额表

流速 (米/秒)	内径 (米)	长度 (米)	编 笼 (条)					装 笼 (条)			
			篾宽 (厘米)		每条 圈数	圈眼 尺寸 (厘米)	需竹 数量 (公斤)	编笼 工 (工日)	装成 高度 (厘米)	需用 卵石 (立方米)	装笼 工 (工日)
			顺	横							
2 以下	0.5	10	4	3	60	13	48	0.26	30	2.0	0.8
2~3	0.6	10	5	4	50	15	60	0.33	40	2.83	1.0
3 以上	0.7	7	6	5	28	19	60	0.33	50	2.83	1.0
备 注	1. 竹笼圈眼应小于当地大卵石的直径。 2. 装笼工不包括石料采集和超过 30 米运距的运输工。										

(二) 装笼

装笼卵石要大小分类，在笼边分别堆放。装笼时较大的扁圆形卵石用于头尾及四周，笼心可用中等大卵石。装石要饱满、平整，每个眼孔均用大石封住，做到一眼一石。笼内不得装小卵石。

(三) 安笼和水中投笼

竹笼安放前，要挖好基槽，削好岸坡，除尽浮沙，垫好反滤层。如遇低洼坑凼，要先用卵石填平。

在大河和干渠的险工地段，每年汛前均要储备一定数量的竹笼和卵石。在抢堵被洪水冲决的堤岸时要选好堵口码头，将竹笼置于四根撬杠上（径 20~30 厘米，长 3 米），待装满卵石后，即行撬放入水。当流速小于 3 米

每秒时，用“标准笼”即可；超过时，须加大笼径到 70 厘米，但笼内要加绑 8 厘米直径的桤木 2~3 根，以防滚笼时折断。抢修时，投笼的方法和位置要看水势，一般是先用竹笼锁固损毁的两端坝头，然后在上游一段距离投笼形成短丁坝挑开大溜。决口两端如交通方便，可两端同时投笼对准方向线推进。如一端投笼，最好自下而上对着水流进行。合龙地点应避开深槽，选在浅滩处。除应用加固的 0.7 米径竹笼外，有时需用两竹笼捆扎投放。投笼工作要求速度快，但劳动强度很大，要分班作业，昼夜连续工作，直至合龙成功，还要继续完成加高培厚工作。

第三节 干砌卵石

都江堰干砌卵石工程较为普遍，其工艺十分娴熟精良，在技术上有独特之处。故干砌卵石工程的用途非常广泛：如干砌卵石护岸、堤埂、拦水夹埂、分水鱼嘴、导水埂、泄水低坝、挑水潜坝、卵石拱涵等。其优点是：(1) 造价低。都江堰灌区各河内普遍有大小卵石，就地采集，仅需普工搬运卵石，技工钉砌埂面，不开支材料费。(2) 抗洪能力强。都江堰渠首的干砌卵石护岸，能经受4~5米每秒流速的冲刷考验。(3) 抗磨性能好。天然卵石多系石英岩和花岗片麻岩，石

质坚硬，其抗压强度达1000公斤/平方厘米以上，故其抗磨性能比混凝土强。(4) 干砌卵石护坡有利于地下水从卵石缝隙中排出，能减小土压推力；作导水埂时，因坝体透水，两面的水头相差不大，仍能保持稳定。

一 干砌卵石的使用

(一) 干砌卵石护岸

卵石护砌厚度一般约20~30厘米，其下应做好反滤垫层。注意保护好岸脚(见图6-7)。在迎水坡面用卵石填好“爬边埂”。

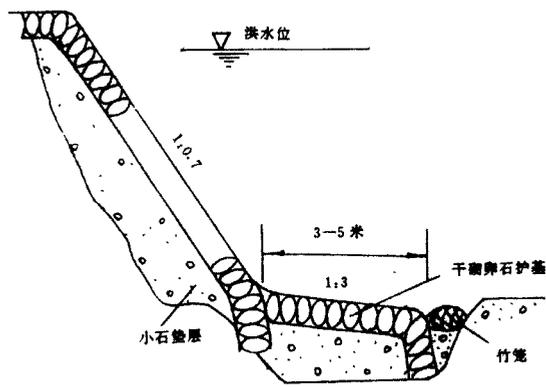


图 6-7 干砌卵石护基示意图

(二) 干砌卵石拦水埂

用于封岔流，束水归槽，多采用干砌卵石夹埂形式。

(三) 干砌卵石溢流坝

用于单宽流量较小的溢流堰（见图 6—8）。

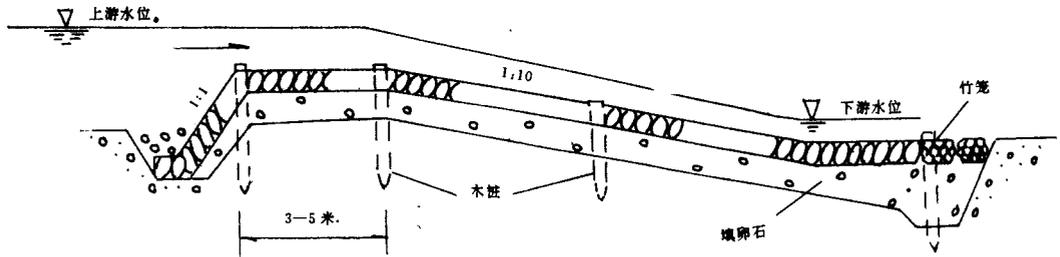


图 6—8 干砌卵石溢流坝示意图

(四) 干砌卵石拱涵

用于干渠输水。如人民渠小石河卵石的多跨拱涵为三心蛋形拱，单孔净跨 3 米，过水流量 23.7 立方米每秒。拱内侧用 1:1:6 水泥石灰砂浆勾缝；拱顶用 1:3:6 混凝土塞缝，混凝土厚 5 厘米，拱顶实际厚度 30 厘米；拱脚厚 45 厘米。涵洞底是混凝土砌卵石反拱，厚 30 厘米。墩也是干砌卵石混凝土嵌里缝，表面用 1:1:6 水泥石灰砂浆勾缝。

二 干砌卵石的施工

(一) 采集卵石

卵石要采集椭圆形的，石质要坚硬，并按大小边采选边编号，然后分类堆放备用。埂面石分四类：第一类基脚

石是长轴尺寸最大的卵石，标记“×”符号；第二类为一等埂面石，标记“1”字，用于从基脚到枯水位间；第三类为二等埂面石，标记为“2”，用于枯水位至常水位间，卵石长轴较一等埂面石小；第四类为三等埂面石，标记为“3”字，用于常水位以上。

(二) 砌筑卵石

砌筑卵石从下游往上游进行，并使卵石长轴略向下游倾斜，以增强抗冲能力。砌筑方法要点是：垂直坡面，分檐砌排，大头朝下，六面靠紧。其中“六面靠紧”是指每个卵石都要与周围六个卵石靠紧，层与层之间卵石要落缝靠紧，达到人踩不动，用力也取不出。

第四节 桩工与羊圈

桩工与羊圈都是在水流湍急，河底严重淘刷之处，为护底防冲的工程措施。

一 桩工

(一) 鱼嘴基础下的承重桩

因河道中大卵石多，不能打入，一般采用挖坑埋桩办法，桩顶再铺枕木使其均匀地承受上面砌体压力。

(二) 鱼嘴基础周边或堤脚外边的关门桩

一般采用长 2.5 米，直径 15 厘米左右的桤木打成密布的排桩，以关拦基础下的砂砾石不被湍水淘刷流失。

(三) 分水导流桩

一般打成排桩以分水导流，埋入河底深度为桩长 $1/2 \sim 2/3$ ，桩顶平枯水位即可。

(四) 防浪桩

一般设在重要的分水鱼嘴或桥闸前面，用以消刹水势减少冲刷或防止漂浮物撞击。桩身埋入河底 $1/2 \sim 2/$

3，桩顶露出最高水面 0.5 米。在平面上可按梅花桩布设。

二 羊圈

都江堰的羊圈工程主要用于急流顶冲处分水建筑物的基础上，如都江堰鱼嘴和飞沙堰等重要工程的护底。羊圈是用木料做成的无底框结构。一般选用桤木或杂木，立柱直径不小于 20 厘米，长度视水深而定。横木内侧竖插直径 10 厘米的签子木用铅丝捆在横木上。木框内填卵石，务求密实，封顶大卵石要丁砌牢靠，也可用竹笼护面。另有一种壅水羊圈，形状为圆柱体，用竹片环绕 8~10 根木桩编成直径 2 米、高 3 米的圆柱体，间隔 4~6 米屹立在江中以壅高水位，逼水进入堰口。建国前每年春耕时，洗瓦堰用此法在成都望江楼下游府河中修临时壅水羊圈 8 个，壅水进堰。汛期前拆除，次年再修。（见图 6—9）

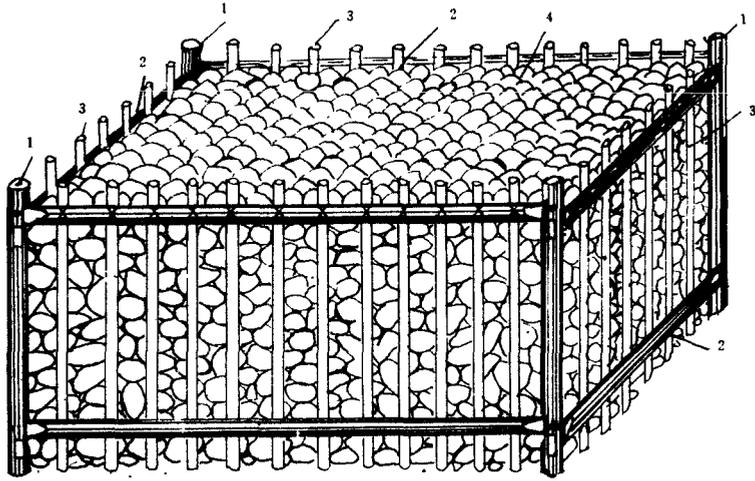


图 6—9 羊圈结构示意图

1—立柱 2—横梁 3—签子 4—丁砌卵石

第五节 河 方

都江堰的河方工程是指在河渠中清除沙石积淤，使水畅流的一项重要工程。治水经验中的“遇弯截角，逢正抽心”，目的是使河身轴线顺正，主流归槽，减轻弯道急流冲刷。同时要使枯水流程最短，春耕时输水迅速。

一 河方工程的“安工”

每年枯水季节时，灌区主管部门派出“安工队”沿河勘查应修河段，并做出设计和概算（习称安工），报请上级批准施行。安工的项目，无论土方或治导建筑物都是针对洪水而设计的。洪水期中，大溜的方向和流径与低水时大不相同，故安工人员既需具

有深厚的河工理论基础，又要有丰富的实践经验，才能做到投资小效益大。

（一）“遇弯截角”

在河弯上，凸岸常常淤积，凹岸不断冲刷，故在凸岸淘滩截角，并在凹岸做挑流工程，利用河流水力扩大淘滩工程，以调整河道和水流态势。

（二）“逢正抽心”

在河流平直段，河心淤积后，造成水流分岔，就会出现横流、倒滩，河槽严重变形，影响泄洪。故应顺水势在河滩中开槽，使主流趋向河心，并利用洪水迅速扩大刷深槽口，变为主

河槽。有时尚须建造导水入槽的辅助建筑物，配合河方工程以达到逢正抽心的目的。

二 河方工程的施工

都江堰河方工程施工，主要是利用农闲劳力，在断流短期内调集大量农民淘挖。要求合理布置工场，恰当

安排劳动组合（如挖、运、填各工序的劳动力组合），充分备齐应用的工具和材料。在技术上要做好测量放线工作。淘挖河方的利用，可堆放两岸筑堤，并可提供建筑部门需用的沙卵石或加工成碎石。

第二章 原型观测与模型试验

1973年,都江堰管理处为了取得都江堰渠首河流底沙和漂木运行的基本资料,探索西南地区山区河流底沙运行的一般规律,观测都江堰分水工程各建筑物的作用,根据水利电力部1973年《关于在都江堰河段开展原型观测工作的意见》和四川省水利局《关于在都江堰河段开展原型观测工作讨论纪要》的精神,建立了原型观测组织,开展对大断面冲淤变化及同时水面线、河床质、卵石推移质、悬移质等项目的观测、分析工作。

大断面观测主要是观测河床的冲淤变化。根据断面的重要性分为基本断面观测和普通断面观测。基本断面是河段中相对重要的观测断面,现设有外江闸前的15#、百丈、A#和内江河段的卧铁、21#、28#以及外江河段的19#—2、20#—2、23#、24#,共10个基本断面,要求观测每次洪峰后河床冲淤变化。10个基本断面中的15#、百丈、A#、卧铁、21#、

28#是重点观测断面,需加测每次洪峰峰腰时的河床冲淤变化,并同步观测相邻水文站与观测断面间的水面比降。普通断面现有31个,要求观测每个断面的年际河床冲淤变化,在每年年底和岁修后观测一次。

同时水面线观测主要是取得不同流量级的河段比降。分别在岷江流量为400、600、800、1000、1200立方米每秒以及超过1200立方米每秒时进行观测,观测时按预定时间,在56个水位观测点上同时进行。

河床质坑测主要是观测河床的床沙结构。每年岁修时在观测河段选点观测。坑测时选1×1米的测坑,分表层和以表层深度的3倍作为底层,分别进行挖坑、取样、筛分、称重等工作。为了观测研究岷江床沙的变化规律,分别在金马河都江堰市至新津县74千米的河段上设置10个断面进行河床观测。

卵石推移质、悬移质观测以及水

位、流量观测均按水文测验规范进行。流速观测用 25—1 型流速仪，悬移质观测用长江流域规划办公室的临底悬沙采样器，推移质用 M—1 型卵石推移质采样器。

都江堰的原型观测工作自开展以来，除按规定向成都科技大学、四川省水文总站、四川省水利水电勘测设

计院、水电部成都勘测设计院等单位提供原型观测资料外，还向水电部长江流域规划办公室、水利水电科学研究院以及铁道部门、城建部门等提供观测资料。原型观测的研究成果都在省级以上的学术会议上作了交流或在省级以上的学术刊物上发表。

第一节 渠首鱼嘴分流分析

根据 1981 年以前都江堰渠首岷江及内江河段的实测资料，原型队对都江堰内、外江的分流比在新的工程条件和供水情况下作了初步研究，得出都江堰分水鱼嘴“四六分水”是一个历史的概念，而不是目前事实的结论。

一 枯水期

在岷江枯水期，都江堰分水鱼嘴不能自然地将大部分来水分入内江，而是以宝瓶口水划为标准，用杓槎（1974 年后使用外江闸）和飞沙堰、人字堤等工程来调节。每年岁修结束后为满足春灌用水的需要，在外江河口都要留下大部分杓槎或关闭外江闸拦水进入内江，至于杓槎应留多少或应开几孔闸门，则要根据岷江来水量和宝瓶口的水位而定。在整个用水期间，要增减水量，也需用杓槎或闸门

来调节。1965 年 4 月 22 日，岷江流量 438 立方米每秒，内江进水 169 立方米每秒，占岷江来水量的 38.6%。这说明在枯水期分水鱼嘴不能自然分六成水进入内江。

1949 年以后，都江堰灌区的受益面积逐步扩大，需要内江的引水量不断增加，但岷江上游无蓄水工程可以调节，因此，春季枯水时内江的分水比例就不可能是固定的，而必须根据岷江来水量和灌溉面积进行分配。根据 1965 年至 1979 年春灌时内江的分流情况分析（见表 6—4），每年春耕用水季节，内江的分流比例在 66%~82% 之间，3、4、5 月多年平均分流比为 72.2%。1980 年和 1981 年春耕用水时，内、外江的分水都按内江 77%，外江（沙黑河）23% 的比例计算分配。在 1937 年至 1977 年 40 年的春季期

间岷江的日平均流量为：3月157立方米每秒，4月276立方米每秒，5月588立方米。除5月中旬和下旬水量

有剩余外，3、4月的水量都全部引入内江和沙黑河灌区，春季内江的分流比例不再是内六外四。

表 6—4 1965 年—1979 年春灌期间内江分流比统计表 (%)

内江 分流比(%)	年 份																
		65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	
3 月		87.0	82.5	73.5	72.2	73.5	89.2	77.4	73.2	81.4	77.0	76.0	81.0	72.0	87.0	90.0	
4 月		59.0	68.8	71.1	70.7	72.3	76.5	77.3	76.1	77.0	75.0	70.0	77.0	69.0	75.0	82.0	
5 月		73.0	66.3	52.8	65.2	70.3	69.7	73.5	80.3	74.1	59.0	59.0	58.0	57.0	69.0	74.0	
平 均		66.3	65.9	65.8	69.4	72.0	78.5	76.1	76.5	77.5	70.3	68.3	72.0	66.0	77.0	82.0	

二 洪水期

都江堰分水鱼嘴在洪水期间也不是内四外六的“倒四六”比例，它与岷江洪水流量的大小、河口工程的布局及鱼嘴以上河道形势的变化有密切的联系。根据 1965 年~1979 年汛期内江分流资料和最大洪峰流量内江分流资料分析（见表 6—5），可以看出，

内江分流比大于 50% 的时候较多，并未少进洪水。也说明在整个汛期，分水鱼嘴不可能把岷江来水按“内四外六”的比例进行分水；还可以看出，分流比不是一个定数，而是随着岷江流量的大小、河口工程及河床冲淤的变化而相应改变的。

表 6—5 1965 年—1979 年汛期内江分流比和最大洪峰流量内江分流比统计表 (%)

内江 分流比(%)	年 份																
		65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	
6 月		51	48	46	63	57	69	68	66	63	59	44	48	50	54	65	
7 月		42	45	42	44	54	59	63	56	54	50	45	45	52	54	53	
8 月		36	37	41	50	52	56	60	53	56	55	55	46	58	58	65	
9 月		36	34		50	51	54	60	51	53	44	47	46	55	54	47	
10 月		33	34	40	55	48	48	60	47	59	51	46	49	55	73	56	
平 均		39.6	39.6	41.6	52.4	52.4	57.2	62.2	54.6	57.0	57.8	47.4	46.8	54.0	58.6	57.2	
岷江流量 (立方米每秒)		2030	4790	2050	2630	1820	2920	1760	3390	2540	1710	2870	2250	4640	3280	3010	
内江流量 (立方米每秒)		934	2020	833	1180	908	1260	1080	1660	1450	746	1470	1160	2410	1500	1550	
分流比		46.0	42.2	40.6	44.9	56.0	43.2	61.4	49.0	57.1	43.6	51.2	51.6	51.9	45.7	51.5	

三 结论

上述分析说明了都江堰内外江的分流是靠鱼嘴、杓槎（外江闸）、飞沙堰、人字堰、宝瓶口等工程相互调节配合，而不是靠一个鱼嘴就能自然地起到“分四六”的作用。也证明了现在内外江的分流比例枯季不是“内六外四”的说法。石刻治水诀中“分四六”的提法，只是一个历史的概念，有

它当时的特定条件；一旦这种条件产生变化，分水比例也就随之而变化。都江堰分水鱼嘴，从李冰修建至今就曾多次修整，位置也有改变。从都江堰渠首工程上看，永久性工程代替了临时性工程，河道护坡和河床改为浆砌卵石，加上水沙运动引起的冲淤变化，都使分水比例不断地产生变化，不可能一成不变。

第二节 宝瓶口河段推移质分析

1975年至1978年原型观测队根据宝瓶口水文泥沙的实测资料，分析了河道形式和卵石颗粒组成的特点，提出了卵石形状对颗粒起动的影晌，建立了包括卵石扁度系数在内的起动流速公式，指出卵石河床部分可动和部分不可动的事实，揭示了宝瓶口卵石推移质输移的规律，并对卵石推移质采样器的效果提出了分析意见。此项研究成果被收入长办水文处编辑的《推移质泥沙测验技术文件汇编》。

一 基本情况

河道形势：宝瓶口河段位于山区河道与平原河道的过渡段，全长385米，除进口段左右各有一石嘴突出形

成控制点外，其余河段比较顺直。河流主流稍偏右岸，经过测沙断面5#至7#垂线位置。河段基本属人工渠道，边坡系数0.8，河底宽36米，两岸为浆砌卵石护坡，河底为现代河流冲积物所覆盖，主要为卵石夹沙，河床质级配宽，且不均匀。在本河段布设有测流、测沙断面各1个，水尺4根，其中：宝瓶口左岸设宝瓶口水划水尺1处，测流、测沙上、中、下断面各设水尺1处，上、下水尺相距100米。

河流泥沙特征：根据宝瓶口测站多年实测资料统计，河段水文泥沙特征值如表6—6。

表 6-6

流量、流速、实测推移质特征值统计表

流 量	最大流量	746m ³ /s	1951年7月27日	统计年份为1942年至1976年,中缺1944年、1949年、1953年至1957年、1962年至1963年资料。
	最大日平均流量	712m ³ /s	1943年7月7日	
	最小流量	断流岁修		
	多年平均流量	220.4m ³ /s		
	最大年平均流量	263m ³ /s	1976年	
	最小年平均流量	173m ³ /s	1959年	
流 速	最大流速	3.86m/s	1972年8月24日	统计年份为1937年至1979年,中缺1941年、1953年、1954年、1956年、1957年、1961年至1963年资料。
	最小流速	断流岁修		
	变幅	3.86m/s		
	实测最大点流速	5.88m/s	1966年7月27日	
推 移 质	最大输沙率	26.5kg/s	1976年9月1日	统计年份为1975年至1978年,共4年资料。
	平均输沙率	0.85kg/s		
	年平均输沙量	1.81万吨		
	最大粒径	533mm	1975年6月30日	
	平均最大粒径	142mm		
	多年平均粒径	59mm		

本河段河槽坡陡流急,水面比降变幅在3~5‰之间,河床糙率在0.033~0.04范围内。

测验方法:采用框架软底网采样器。依据推移质测验规范,在测沙断面布设测沙垂线13条(1975年)、8条(1976年至现在),每次取样时间为300秒,汛期流量沙量较大时为100秒。每条垂线上重复取样两次,两次样品混合分级称重,每级选一大卵石用游标卡尺量出3个方向互相垂直的长度,用算术平均法计算出卵石粒径,点绘出各垂线粒配曲线,算出各垂线的基本输沙率,用相邻垂线的基本输沙率的均值乘部分宽,求得部分输沙率。再求总和即得断面输沙率。

在测沙起止时刻,同时观测宝瓶口基本水尺和上、中、下水尺水位。

二 起动特性

宝瓶口河段河床由不均匀卵石及沙砾组成,粗细颗粒相差大,其中较大颗粒处于突出地位,占据河床一定面积,当水流不足以推动这部分泥沙时,则对小颗粒泥沙起“掩蔽”作用,位于大颗粒副流区的细颗粒泥沙就可能成为该动而不动。已运动的泥沙也经常与床沙发生交换,成为不再运动的河床质。因此,宝瓶口河段河床卵石具有部分可动、部分不可动的特点。

推移质颗粒有粗有细,运动的速度有快有慢,反映在推移量上各径组

也有很大差别，其中特大的颗粒输沙率是零。把推移质中最大粒径作为判断起动的临界粒径，床沙中凡等于或小于该粒径的都属于可动部分，大于该粒径的属于不可动部分。

在测验中，用推移质采样器采得的卵石最大粒径作为临界粒径，其所对应的流速作为该粒径的起动流速。宝瓶口站 1979 年前测推时未同时测速，而是用浮标测流。所以，用断面平均流速来建立起动粒径与起动流速的关系，整理出 1979 年实测流速与流量的关系曲线和 1978 年、1979 年实测断面平均流速与断面平均底速关系线，得出断面平均流速与底速的关系较稳定，浮标流速与仪测流速基本一致，并得到都江堰河段其他测站资料的验证，证明了用断面平均流速来建立起动粒径与起动流速的关系是可行的。

三 输移特性

宝瓶口至紫坪铺区间的河势对输移特性有重要影响，此区间的河势由于各个小的河段在平面形状、宽度、深度、比降、流速和流态等方面都有较大的差别，使底沙输移在时间和位

置上存在差异。又因该河段还受外江闸的控制，因此，河段虽然流量变幅不大，但沙量变化却很大，反映在同流量级的情况下输移率不同，有一个变幅存在。从流量与实测输移率的关系图上分析，变幅有明显的规律，而且各年的规律相似，可得出本河段推移质输沙率与流速的 10 次方成正比。

河床组成的影响：从长期的观测中发现在大流量时测得的粒径较大，小流量时测得的粒径较小。这是一个重要的概念：在某一水流条件下，只起动河床质中某一范围的粒径；在另一水流条件下，起动另一范围的粒径。推移质颗粒级配不等于河床质颗粒级配，组成推移质的颗粒仅是河床质的一部分。这一概念在处理实际工程问题或在理论研究上有着重要的意义。

河床质组成不均，大小颗粒互相影响，起主导作用的是大颗粒，而大颗粒对小颗粒有一定程度的掩蔽作用；但是水流经过大颗粒产生的绕流漩涡又利于细颗粒的启动，究竟哪种作用是主要的，还待深入研究。

第三节 沙黑河挑沙坎导沙分析

根据原型观测资料，分析了 1982 年前沙黑河进口挑沙坎的导沙作用。

从挑沙坎建成前后的沙黑河首段 650 米河床冲淤变化、卵石推移质进入量以及卵石推移质起推时间的变化等三方面,论证了挑沙坎的导沙作用;同时提出这一导沙措施的推广应用条件。

一 观测情况

沙黑河是都江堰的右干渠,在设计都江堰外江临时闸时,沙黑河系侧向引水。1974 年初外江临时闸建成,未同时修建沙黑河进水闸。1978 年初,为解决沙黑河口引水防沙问题,都江堰管理局在外江闸上游 91 米处的岷江右岸修建了与岸边夹角 30° ,长 63 米、高 0.8 米的挑沙坎。

1978 年以前,沙黑河首实为外江闸第 7、8 两孔,净宽 24 米,闸底高程 729.0 米。从渠首至沙黑河电站进水闸,长 1150 米。河两岸为浆砌卵石护坡,河底为第四纪冲积物覆盖,主要是卵石夹沙。为掌握沙黑河首段水、沙情况及河床冲淤变化,1974 年起,在 0~650 米河段内设置了 26 个河床冲淤变化观测断面,间距 25 米,每年汛前、汛末及岁修前后各观测一次。四川省水文总站都江堰直属试验站从 1975 年起在距渠首 354 米处设水文泥沙测站,进行水位、流量及泥沙观测。

二 水沙关系

1978 年建成挑沙坎后,改变了外江闸前岷江右岸的底流方向,对底沙

运动起到了拦阻和改向作用,使其较难进入外江闸第 7、8 两孔,较易泄入其余各孔。根据资料分析,挑沙坎附近河道水深为 1.90~3.07 米,相应岷江流量为 546~2160 立方米每秒,流速为 1.96~6.51 立方米每秒,水深为挑沙坎高的 2.38~3.81 倍,证明了挑沙坎在拦截大量底沙的同时,表层水经外江闸的调节,可满足沙黑河配水的需要,起到引水防沙的作用。

河床冲淤变化:根据沙黑河 0~650 米实测河床各断面冲淤变化和 1975 年岁修后河床情况相比较,河段冲淤变化如表 6-7。

汛末沙黑河口

表 6-7 0~650 米淤积情况

年份	1976	1977	1978	1979	1980
淤积量 (m^3)	1086	9411	-2167	-4476	-1595

在观察期内,除 1977 年曾遇岷江近 5000 立方米每秒的洪峰流量外,其余皆为一般洪水年。从表中可以看出:1977 年以前河段各年皆有较大淤积;1978 年挑沙坎建成后冲大于淤。1980 年受沙黑河电站运行的回水影响冲刷量减少,对河段冲淤平衡有利。河床的纵向冲淤变化,除 1977 年洪水大并且未建挑沙坎而有较大淤积外,其余各年均无变化。在 350~650 米范围内,1978 年和 1979 年有冲深

趋势, 1980年电站运行后冲深趋势基本停止。

分流、分沙情况: 沙黑河系大型引水渠道, 引进流量除与岷江总流量有关外, 还与都江堰枢纽的改建及管理运用密切相关。从表 6—8 可以看出, 除 1977 年洪峰流量较大外, 其余

各年皆为一般洪水年。1978 年以前, 沙黑河分流比小于或接近于分沙比, 1978 年挑沙坎建成后, 从 1979 年起分沙比显著下降。原型观测资料说明: 1978 年前后分流比变幅不大, 但分沙比则显著减少。

表 6—8 岷江及沙黑河各年流量特征值和卵石推移量情况表

年 份		1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
最大流量 (m^3/s)	岷 江	2870	2400	4650	3280	3140	2880	2030
	沙黑河	244	164	187	139	180	142	258
平均流量 (m^3/s)	岷 江	541	508	482	440	430	434	519
	沙黑河	84.5	67.9	49.3	62.8	62.3	60.0	78.2
沙黑河分流比 (%)		15.62	13.37	10.23	14.27	14.49	13.82	15.07
卵石推移质量 (万吨)	岷 江	12.8	5.8	8.42	9.15	5.88	4.39	11.77
	沙黑河	1.68	1.02	1.07	1.36	0.278	0.376	0.375
沙黑河分沙比 (%)		13.13	17.59	12.71	14.86	4.73	8.56	3.19

卵石起推时间的变化: 从原型观测资料分析, 从 1979 年起, 卵石推移时间比挑沙坎建成前推后 16~18 天, 说明挑沙坎发挥作用后, 在小流量时, 大于都江堰采样器 (底孔为 20 毫米) 的卵石未能进入沙黑河。

三 结 论

通过对几年的实测资料分析, 修

建挑沙坎可达到将底沙导向外江主流, 使沙黑河少进底沙、多进表层水的预期效果, 有利于本地区的灌溉与发电。在今后兴建低闸引水枢纽工程中, 特别对底沙大、拦河闸底和进水闸底高差不大的引水工程, 在进水闸前修建挑沙坎, 作为引水防沙的工程措施是适宜的。

第四节 金马河河床质分布

为探讨都江堰岷江河段的泥沙运动规律,都江堰管理局于1982年3月对岷江金马河河段的河床质进行了一次实测调查,首次整理出10个断面的河床质颗粒级配定量分析数据,探索了河床质沿程变化规律。

一 河道特征

岷江在紫坪铺出山后,干流金马河由北向南,穿越成都平原西南部,由都江堰首至新津县城河槽深泓线长78.5千米,河道直线距离73.2千米,河道弯曲率1.07。河段高程由729米降低至453米,总落差276米;河床比降由青城大桥一段的5.5‰,渐减为新津一段2.0‰;相应河床平均宽度由320米增至500米,最窄处200米左右,最宽处近1000米。

金马河为岷江行洪河道,在70多千米长的河段中,没有支流汇入;只有很少几个灌溉渠取水口,又不分洪,所以不影响其泄洪输沙特性。

金马河河床主要由卵石组成,由于河道坡降陡,流速大,水深浅,卵石碰撞细化作用强,河床质颗粒级配宽,冲淤变化大。又因河床宽窄不一,滩沱相间,水流坡降陡缓且变化频繁,造成砂州、横流、倒滩等现象沿

河多见,这是金马河河床的基本特点。

二 测验方法

砂(卵石)样采取。从都江堰鱼嘴外江闸下游1000米的鲤鱼沱起到新津的马河心止,在全长75.2千米的河道上,根据河道天然情况取河段比较顺直,没有江心洲和较大边滩的地段,共选择10个断面取样。根据都江堰渠首段河床面挖坑探测,沿河床深度砂石级配仍有较大变化,一般河床质冲淤厚度0.4~0.7米,平均0.5米。河床质表层沙样代表当年洪水造床流量,底层代表较大洪水造床流量。因此,每选定一断面先在河床床面采样,以供计算河床床面粗化之用。具体作法是在选定采样断面上,用绳尺量距,每隔5米取卵石一个,汇集全断面砂(卵石)样(一般60~80个)进行筛分,代表河床床面卵石级配。其次在同一断面上,选河槽主流的边滩处,挖一测坑采样,因该处常年冲刷,砂样代表该河段河床质。再在断面上淤滩中部挖一测坑采样,因该处砂石淤积,略可代表该河段推移质。测坑长宽各1米,深度一般0.5米,分别在表层及坑底采样。测坑地

点及特征见表 6—9。

表 6—9 测坑地点及特征表

取样地点	测坑 间距 (千米)	河床 比降 (‰)	断面 宽度 (米)
都江堰市鲤鱼沱		5.5	210
都江堰市张家湾	5.4	5.2	317
都江堰市六角堰	7.8	4.5	330
温江岷江渡	8.7	4.2	333
温江天王堰	6.6	4.0	474
温江鲁家滩	12.6	3.1	739
温江上黎筏子	5.8	2.9	355
双流灯盏窝	5.4	2.7	473
双流石马堰	8.8	2.2	397
新津马河心	14.1	2.0	498
合 计	75.2		

砂样处理：所有野外床面和深坑砂样，均就地进行分级处理。径大于 50 毫米的用目估分级，全称重量，量各级中号卵石尺寸作为代表粒径；粒径小于 50 毫米至 5 毫米以上者，就地用粗筛筛分，粗筛孔径分别为 50、30、10、5 毫米，称记各级全部重量；粒径在 5 毫米以下者，就地全称重量，用袋包 500 克沙样，带回烘干后再用细筛筛分，细筛孔径为 5、2.5、1.2、0.6、0.3、0.15 毫米，分别称重，然后进行比值换算，得出 5 毫米以下各级砂重。

三 结论

根据实测资料计算整理，将鲤鱼沱至马河心分为上、中、下三段，以冲坑表层实测卵石径为例，各级粒径变化比较如表 6—10。从表中可得出：

愈向下游粒径相对变化愈小。原因是金马河河道比降沿程变缓，水流流速减小，挟沙能力减弱，粒径大卵石沿程沉积；而且金马河输移卵石在年复一年的推移过程中，互相碰撞磨损，以致逐渐变小变细。此外，天王堰、上黎筏子两个断面卵石粒径出现反常现象，下游天王堰比上游岷江渡的卵石粒径大；下游上黎筏子卵石粒径也比上游鲁家滩大。原因是在选择采样断面时，对河段局部冲淤变化及弯道倒滩部位情况了解不够，造成选坑定位不恰当。如天王堰选在强冲刷部位，河床面粗化，河床质卵石粒径偏大；鲁家滩断面测坑位置则选在河床面放宽段，流速降低，因而出现河床质卵石粒径下游大、上游小的反常现象。另外由于河道滩沱相间，在某一河段上又有滩头、滩中、滩尾之分，各部位河床卵石粒径变化也相当大，今后再进行这项工作时，对断面测坑位置的选定，一定要特别注意其代表性。

表 6—10

断面 位置	距离 (千米)	表层卵 石径粒 (毫米)	粒径差 (毫米)	细化率 (毫米/千米)
鲤鱼沱	21.9	313	179	0.17
岷江渡	30.1	134		
灯盏窝	22.9	106	16.2	0.71
马河心		89.8		

第五节 渠首模型试验

1970年初,由四川省水利设计院、成都工学院水利系等单位组成模型试验组,在灌县四川省水利学校内制作了1:100的正态定床模型,进行试验研究。鉴于岷江上游无水库拦蓄泥沙,规划的工程布局,在原鱼嘴电站轴线主河道修建10孔节制闸,按747.0米水位运行。经一年多的试验取得了系统的资料。1971年,在成都工学院水工试验厅进行了主闸断面模型实验;并写出了内容有主闸的流量系数、主闸上下游水面衔接及下游河床冲刷、闸护坦的脉动压力、闸基渗流电拟成果等的试验报告。1971年底方案经水电部审查,认为方案按747.0米水位运行,泥沙淤积和漂木难于解决,决定汛期为低水运行,并提出模型比尺小,泥沙、漂木等相似性差,建议做更大的模型试验。

一 第一阶段

1972年初,四川省水利局与成都工学院水利系协商,决定在成都工学院水工研究所建造1:60的正态模型,并组成30余人的模型试验组。考虑到岷江都江堰河段卵石推移质颗粒粗和级配宽,运动规律复杂,且当时又无推移质输沙率的实测资料,故在

试验中又设计建造了平面1:240、垂直1:120的变态动床模型,以求得较完整的科学数据。1972年至1973年5月,进行了1969年拟定的原坝轴线高闸方案的低水运行试验,并编写出“都江堰水利枢纽低水运行阶段报告”。

试验结论:1. 高闸方案低水运行,引水基本达到要求;2. 漂木流量小于1300立方米每秒时漂木能顺利进入内江,流量大于1300立方米每秒时漂木漂失率稍大于设计规定要求,并时有插垛现象;3. 内江宝瓶口的进沙量略低于建闸前的进沙量,满足设计要求;右灌闸进口,采用拦沙坎和长、短水墙等措施后,进沙量仍略大于建闸前的进沙量。

1973年5月水电部审查认为:高闸方案低水运行,闸前淤沙量较大,泥沙、漂木问题不落实,还需进一步试验研究。为了克服杓槎调节引水的缺点,解决当前灌区用水不足的问题,决定通过模型试验在外江河口适当位置修建外江临时闸,代替杓槎调节引水。

1973年5月至8月,试验组在正态模型上进行了外江临时闸的试验工

作，着重论证了闸轴线的位置、闸孔数目和闸孔宽度、闸底板合理高程、建闸前后的分沙、分流、漂木等问题。试验结果，除右灌闸的引水防沙不够理想外，内江宝瓶口的引水防沙和漂木均满足规划设计要求。1973年9月水电部批准外江临时闸施工，并决定进一步对右灌闸进行深入试验，要求在1973年底提出可行性方案。

1973年10月，进行右灌闸试验，年底完成试验，结论为：由于19°进水角方案与7#、8#闸孔正面引水方案的引水防沙效果基本相同，考虑到外江闸是一个临时措施，右灌闸也应是临时性的，故决定右灌闸引水暂采用外江闸的7#、8#两孔正面引水，闸底板高程729.0米，与外江相同。下游用1.6米高的条石分水埂与外江分开，汛前大流量时可将过量洪水泄向外江，并在闸前设置拦沙埂。外江闸于1974年4月竣工，5月正式运行。

二 第二阶段

外江闸建成后，都江堰枢纽工程指挥部对模型试验工作作了新的部署：1. 确定上轴线高闸方案和下轴线低闸方案同时进行试验；2. 在成都工学院进行试验的同时，修复四川省水利学校原1:100的正态定床模型，进行下轴线低闸方案试验，模型沙选用比重1.6吨/立方米的煤屑。后因模型漂木试验相似条件不理想，又增建1:80的正态定床模型，同时进行试

验。

四川省水利学校试验的下轴线方案工程布局有两个方案：1. 在紫坪铺水文站附近左岸设一引水闸，汛期引水200立方米每秒，用倒虹吸形式通过白沙河口，然后以明渠引水至原鱼嘴左岸电站，发电后尾水泄入金洞子隧洞到人民渠；以外江闸为基础增设三孔内江闸，解决漂木和汛期控制分洪问题；右灌闸采取前试验的19°进水角方案，并在沙黑河下游小罗堰处，设引水和泄洪排沙闸，对进入右灌渠过量的洪水和砂石进行第二次处理。2. 以外江闸为基础，设4孔内江闸，1#孔16米宽，为左岸隧洞引水闸，2#漂木孔宽13米，其余3#、4#为进水闸和分洪闸。

上轴线高闸方案枢纽非汛期为747.0米高水运行，汛期为736.0米低水运行。对推移质的处理，枯水期来水全部引入灌区，来沙则全部挡蓄在库内；汛期随着流量的增加，闸门逐渐开启泄洪排沙，流量为900立方米每秒时，利用螺旋流排沙槽排沙；大流量时则利用环流大泄大排，把库内淤沙和上游来沙全部排出库外，达到年内冲淤平衡。

根据规划设计拟定的上述运行条件，正态模型按平衡输沙率加沙，进行了1973年一个半汛期的系列输沙试验、清水、浑水、漂木试验；变态动床模型按平衡输沙率加沙，进行了

1973年、1974年中水、枯水、丰水的连续输沙试验。试验结果证明,枢纽按平衡输沙率加沙、引水,防沙和漂木均未满足设计要求。1976年水电部对试验结果审查后,对高闸低水运行提出两点意见:1.高、低闸方案的试验输沙率不统一,难于比较,建议用统一的输沙率进行试验;2.都江堰工程影响很大,改建方案务必安全可靠;要求能解决较大的年来沙量,建议再按梅氏公式计算输沙率加沙实验。

1976年冬,成都工学院模型试验组在正态模型上,按梅氏公式计算输沙率加沙,进行1973年汛期过程的输沙试验。发现来沙量大,库容有限,当库内淤沙超过50万立方米后,上游来沙随着引水几乎全部或大部进入内江;按736.0米水位运行,枢纽不能解决引水防沙的问题。同时在变态模型上,按北京水科院的输沙率公式计算输沙率加沙,进行5个水文年的连续输沙试验,结果也能满足引水防沙设计的要求。1977年在变态模型上进行了下轴线低闸方案和飞沙堰建闸方案的输沙试验,初步结论为:

1.按平衡输沙率或按水科院公式计算输沙率加沙,高闸和低闸方案的引水防沙和漂木均能满足要求,其中高闸方案效果更好,漂木效果更为突出;2.低闸方案中水年年输沙量超过200万吨时,引水防沙困难较大,按

梅氏公式计算输沙率加沙,引水防沙和漂木均不能满足设计要求;3.飞沙堰建闸,能改善飞沙堰的泄洪排沙条件。

1977年初,试验组又进行了内江二王庙至宝瓶口下游南桥段的模型校正;内江二王庙至宝瓶口段的流态、流向、流速等项目的观测;在输沙平衡条件下飞沙堰的排沙试验;飞沙堰的闸坝方案和节制闸方案的比较试验等,均取得了系统的资料。

三 第三阶段

这一阶段主要根据四川省水利水电设计院进行都江堰枢纽上轴线方案可行性方案的规划设计进行低水运行的试验工作,试验内容有:1.闸前库区人工弯道的合理河槽底宽度;2.库区导流堤的合理长度;3.闸前螺旋流排沙槽、拦沙坎的排沙效率及建筑物的合理尺寸和布置形式;4.枢纽库区泥沙的调蓄能力;5.确定飞沙堰的改建方案;6.汛期内江分洪问题;7.木材的流送及导漂设施的布置形式。

经过分级流量的定项试验和系列的输沙试验,取得了上述7项成果,结论为:1.闸前库区人工弯道河槽底宽为100米,达到了既保持足够的排沙能力,又适当地减少槽内流速,降低防冲标准。2.导堤长度为578米。3.螺旋流排沙槽比拦沙坎的排沙效果好。4.库区泥沙的调蓄能力,平衡输沙率加沙,736.0米水位运行能满足

设计要求；而按梅氏公式计算输沙率加沙，则需提高至 738.0~739.0 米水位运行才能做到冲淤平衡，满足设计的引水、防沙、漂木的要求。5. 飞沙堰改建方案 7 孔，每孔 12 米宽的泄洪排沙节制闸，改善了飞沙堰的泄洪排沙能力，岷江来水流量为 4200 立方米每秒时，外江泄流对飞沙堰的泄洪排沙开始有影响；6. 内江分洪，飞沙堰更须改建，岷江流量小于 2600 立方米每秒时，内江不分洪，对漂木更有利。7. 提出导漂合理的结构和布置形式。

四 第四阶段

该阶段的试验内容主要是高闸方案低水运行的完善试验，进一步探明枢纽库区的冲淤变化，枢纽的引水、防沙、漂木效果，为可行性方案设计枢纽各建筑物的结构形式、尺寸和抗冲与防护范围等提供依据。为满足试验要求，把原 1:60 的正态定床模型上自盐井滩、下至鲤鱼沱河段全部改为动床，最后通过 736.0~739.0 米的各级运行水位，按梅氏公式计算输沙率加沙系列的试验，取得了规定试验的系列资料，并根据以前的试验资料，提出了“都江堰枢纽上轴线方案试验综合报告”。结论为：1. 都江堰上轴线高闸方案工程布局，在原坝轴线主河道建造主闸 10 孔，孔净宽 14 米，闸底板高程 731.0 米。10# 闸孔为右灌渠进水闸，底板高程 733.0 米，闸前设 1.5 米高的拦沙坎，防止泥沙

进入右灌渠。4#~9# 闸孔为外江泄洪排沙闸孔，其中 4# 闸孔前有螺旋流排沙槽，以排泄中等流量的库内泥沙。1# 闸孔为汛期左岸隧洞进水闸孔，闸前有挡漂板，防止漂木进入隧洞引水渠。2# 闸孔为漂木闸孔，为保证 739.0 或 738.0 水位运行时能全开漂木，2# 孔的闸底板高应分别提高为 732.8 米和 733.2 米。3# 闸孔为内江调节流量和泄洪闸孔。为有利于漂木和排沙，应对上游河心滩河段进行整治，整治措施用单一的人工弯道统一河心滩河段的左、中、右三槽，人工弯道由两段组成，上段曲率半径 630 米，中心角 $36^{\circ}24'$ ，弯道 368 米，下段曲率半径 367 米，中心角 $32^{\circ}48'$ ，以增大环流强度，利于排沙。两段弯道总长 578 米，弯道底宽 100 米，纵坡 0.0032。闸前设 360 米的刚性透水导漂，右岸堤以距闸轴线 210 米处起点，顶高程 740.0 米，以 0.0032 坡度逐渐向上游增高。2. 按平衡输沙率加沙，汛期运行水位 736.0 米，枢纽的引水、防沙和漂木均能满足设计要求。3. 按梅氏公式计算输沙率加沙，汛期须提高到 738.0~739.0 米水位运行，才能满足枢纽设计的引水、防沙和漂木要求。4. 飞沙堰修建泄洪排沙闸能改善飞沙堰的泄洪排沙效果，减少宝瓶口的进沙量。5. 5# 闸孔左侧至导漂龙口以上，第一节导漂以内范围，须予以护底，以防冲刷。6. 下

游护坦末端由于有外江临时闸的抑制,冲刷坑深度不大,只有5米深,外江临时闸至金刚堤末端河段河道按底宽为100米,底坡为0.004的梯形断面整治,在两岸加以保护的情况下,

可以把泥沙顺利输送到鲤鱼沱河段,实现枢纽对泥沙的处理方案。在库区则“蓄排结合,以排为主”,下游河道“排淘结合,以排为主”。

第三章 灌溉试验

都江堰灌区的灌溉试验工作开始于50年代初。1953年都江堰管理处分别在崇宁、温江等4个管理站进行“新法泡田”、“浅水灌溉”等项目的试验，取得成效后于1954年发展到26个管理站均开展灌溉试验工作。1955年都江堰管理处在灌县崇义乡建立专业试验站，1960年迁至灌县农场。1962年又在灌县新城乡租用土地13亩，进行灌溉试验，并增设新都试验站、郫县马光堰样板田试验点、郫县犀浦乡试验点。1969年灌溉试验工作一度中断，1973年恢复。1978年成立都江堰

管理局，使灌区各管理处的灌溉试验工作得到统一，分别建立了7个灌溉试验站，实行统一研究课题，统一进程安排，统一资料收集的项目和标准，统一试验方法和测试手段，统一资料汇总的表格和图式。每年2、3月和9、10月分别由都江堰管理局主持召开灌区大、小春灌溉试验工作会议，交流工作情况和经验，传达有关文件和会议精神，进行业务辅导、研究，落实大、小春灌溉试验课题等。试验项目由都江堰管理局在灌区各处抽调高、中级技术人员进行评审。

第一节 土壤水分测报

1976年，都江堰管理处为了指导灌区小春作物的合理灌溉，以灌县、崇庆、新都、温江、双流、成都金牛区等试验点为基本测点，进行了小春

种植期间田间土壤水分的测报工作。1979年冬，都江堰管理局试验站在承续前期工作的基础上，先后在都江堰外江灌区的崇庆、大邑、新津、邛崃

等县的 22 个乡镇,选择布设控制测点和试验点并同当地水电、农技部门协作,进行定点、定时测定和逐步开展土壤水分预报、测定效果观测及大面积调查等工作。通过试验测定,初步摸清了小春种植期田间土壤水分运动变化规律。1990 年获四川省科学技术进步三等奖。

一 测试分析

表 6-11

外江灌区土壤物理特性

项 目	轻 壤	中 壤	轻 粘	中 粘
比 重	2.44~2.56	2.35~2.56	2.45~2.58	2.45~2.56
容重(克/立方厘米)	1.40~1.55	1.36~1.45	1.30~1.44	1.24~1.48
孔 隙 度 (%)	39.5~42.6	42.1~43.8	44.2~46.9	41.9~49.4
田间持水量 (%)	28~29	28~30	29~32	30~35
饱和含水量 (%)	37~42	38~42	40~42	42~44

(一) 田间土壤水分的动态

小春种植期间土壤水分的变化,受气候条件、土壤质地、地下水埋深及农技措施等的综合影响,但主要是受气候条件所制约,特别是降雨的影响最大。对 1979 年至 1987 年崇庆县城关及金鸡乡两个测点的实测资料分析,田间土壤水分与降水呈正相关,系数达 0.85,达显著水平。灌区内季节性降水分配不均,田间土壤水分随着不同的地理位置、生长季节、土层深度、地下水位等因素而运动变化,其规律是:地理位置高的地区土壤湿度大,地理位置低的土壤湿度偏小;

都江堰外江灌区地处成都平原西部,土壤水分测定地段位于东经 103°39'~50',北纬 30°27'~50'。西河以东多属壤土,以西多属粘土,地下水埋深 1~3 米,土壤剖面容重 1.24~1.55 克/立方厘米,孔隙度 39.5~49.4%,田间持水量 28~35%,饱和含水量 37~44%。(见表 6-11)

土壤水分随季节变化,主要为冬春多干旱,夏季多洪涝,秋季多绵雨的特殊气候所致;土壤水分的垂直运动,0~20 厘米运动变化活跃,土壤水分消耗量大,20~40 厘米土壤水分消耗较小,可得到灌溉和降水的补充,常有干湿交替现象,40~60 厘米土壤湿度比较稳定;地下水埋深对土壤有影响。

(二) 田间土壤水分趋势预报

试验站于 1984 年冬开始在三个小春种植期对崇庆、新津、大邑三县进行测报田间土壤水分变化趋势,根据作物当时适宜的土壤湿度要求,及

时地采取相应的灌溉或排水措施。从三年的预报来看,标准差是:1984~1985年较好为1.464%,1986~1987年次之为1.472%,1985~1986年再次之为1.650%。从各地的预报分析,标准差大邑为1.267%、崇庆为1.433%、新津为1.794%。从土壤质地分析,壤土标准差为1.212%、粘土较差为1.676%。从作物分析,小麦为1.384%,油菜较差为1.653%。出现的油菜、粘土、新津以及1985~1986

年的标准差大于3年测报标准差1.522%的现象,有待今后通过实践加以解释。

(三) 增产效果

从1981年冬开始,在崇庆、大邑、新津、邛崃等县的控制测点开展测报效果试验,结果见表6-12。从表中可看出1981年至1986年小麦平均产量较当地亩产高49.5公斤,达极显著标准,油菜平均产量较当地亩产高26.5公斤,达极显著标准。

表 6-12

测报效果试验成果表

年 份	小麦	油菜	备 注
	比平均亩 产高(公斤)	比平均亩 产高(公斤)	
1981~1982	70.2	40.1	
1982~1983	63.7	20.4	小麦11个点有1个点减产,油菜10个点有1个点减产
1983~1984	20.2	28.6	小麦10个点有2个点减产
1984~1985	38.9	21.4	小麦15个点有2个点减产,油菜11个点有2个点减产
1985~1986	54.5	21.8	小麦15个点有2个点减产,油菜11个点有2个点减产

二 分析结论

(一) 连续8年的测定和研究,基本摸清了外江灌区在小春种植期间土壤水分的变化动态规律,掌握并运用于生产,显示出有进一步提高小春作物用水的科学管理水平和促进增产的作用,建议在全灌区开展灌溉预报中

加以采用。

(二) 初步探索到在小春种植期间田间土壤水分的变化主要受气候条件,特别是降雨所制约,田间土壤水分与降水呈正相关。田间土壤水分随着不同的地理位置、生产季节、土层深度、地下水位等因素而运动变化。

田间土壤湿度从宏观上看，有因所处地理位置的高低而变化的趋势，一般是所处地理位置高的地区土壤湿度偏大。土壤湿度随季节变化，在种植期一般偏大，能满足小麦、油菜的播种、移栽、幼苗生长对水分的要求；立春前后，在一般情况下田间土壤湿度基本上能适应小麦、油菜的拔节、孕穗和现蕾、抽苔需要的适宜指标要求，但个别地区或个别田块要适当灌水补给；春水期，田间土壤水分虽有所下降，但在一般年景仍能达到小麦、油菜后期对适宜土壤湿度指标的要求，仅在极个别的年份和地区考虑给予灌水补给。土壤水分具有垂直地向地面移动的特性，一般耕作层最为活跃，频繁地交替进行上升和下降；20~40厘米层移动变化较为活跃，常有干湿交替现象；40~60厘米层较为稳定，运动缓慢，变化范围较小。地下水对田间土壤水分的补给也不容忽略，补给量与埋深及土壤质地有关，地下水埋深一般是粘土地区深于壤土地区，在埋深1米左右时对田间土壤水分有影响。

(三) 田间土壤水分的趋势预报，是对处于不断运动中的土壤水分依据其增长或消退的变化动态规律，定量地进行预报估算，并以当时作物所需求的适宜土壤湿度，及时地采取相应的农技措施。建议完善这项预报，在全灌区推广。

三 成果鉴定

1988年1月26日至27日，四川省水利电力厅组织对“外江灌区小春种植期田间土壤水分的测报”进行了鉴定，并发《技术鉴定证书》，鉴定意见为：

(一) 此项研究，从提高小春作物灌溉效益和用水管理的水平出发，目标明确，针对性强，试验方案和技术路线的选择合理；点面结合，农水结合，测试方法正确，技术资料完备可信，证明材料具有一定的权威性。

(二) 此项研究在基本掌握小春作物适宜含水率指标的基础上，从研究小春作物种植期间土壤水分变化动态着手，采用田间土壤水分趋势预报，指导一个较大灌区范围内的小春作物灌溉排水，在国内尚未见报道，具有先进水平，对提高用水管理的预见性和灌溉水的经济效益，均具有较大的作用。研究的基本方法，可供省内外其他灌区借鉴。

(三) 研究提出的“外江灌区小春种植期间的土壤水分动态规律”基本符合客观实际；“田间土壤水分动态规律”准确度高，根据预报提出的一些灌排措施，用于指导生产，受到灌区有关部门和群众的欢迎，并取得了较大的经济效益和社会效益，同时也为用水管理提供了科学依据。

(四) 建议对报告补充后作成果上报，并继续抓好成果的推广应用。

第二节 中稻灌排技术

70年代后期,杂交中稻引进都江堰灌区,对灌排技术提出了新的课题,都江堰管理局组织灌区试验站进行了杂交中稻的灌排技术研究,提出了适宜杂交中稻的灌排技术和方法。1989年获四川省科学技术进步三等奖。

一 测试分析

(一) 试验成果资料可靠性检验

将灌区各地试验实测产量结果,按不同土质分类进行方差分析,结果表明:两种不同的土类试验的结果,处理之间存在真实的产量差异,试验结果是可靠的,可作进一步分析。

(二) 不同灌排型式产量结果的比较分析

根据方差分析结果,将不同灌排型式的平均产量,用最小显著极差法的新复极差测验,计算最小显著极差数,用字母标记法进行多重比较,分析结果表明:杂交中稻在粘土区采用“湿润式灌溉”比“间歇式灌溉”和“浅水灌溉”有显著的增产效果,但与“间歇式灌溉”之间无极显著的产量差异;在壤土区采用“间歇式灌溉”和“湿润式灌溉”均比“浅水灌溉”增产,而“间歇式灌溉”的增产效果则更显著一些。因而在粘土区采用“湿润式

灌溉”,在壤土区采用“间歇式灌溉”为好。

(三) 晒田对杂交中稻生长发育及其产量的影响

晒田程度:“将重、中、轻和不晒四个处理的实测产量资料,按3种不同土类进行方差分析,再用最小显著极差法的新复极差测验进行多重比较,结果是晒田在粘土、重壤、中壤土上有极显著增产效果,粘土和重壤以重晒为好,中壤以中晒或轻晒为好。轻壤和砂壤土晒田,应掌握晒田程度,晒重了会降低产量。根据晒田历经时间、耕层土壤湿度、田面情况等综合测定的结果是:“重晒”从排水起晒13天左右复水,土壤湿度为85~90%,田面裂口在2.5~7.0毫米,表土变硬,白根上翻,人下田脚不粘泥为宜。“中晒”从排水起晒10天左右,复水前田面裂口在1.5~3.0毫米,脚踩有印,田面出现白根,土壤湿度为90%左右。“轻晒”从排水起晒5~7天,晒至田面紧皮或有小麻细纹,脚踩有印沾泥,土壤湿度为95~100%。晒田时间:根据实测资料,在不同土质情况下,晒田时间早迟对杂交中稻的群体结构、穗部性状及后期

产量均有不同程度的影响,排水晒田过早,分蘖数不够,最高苗上不去,群体偏小,有效穗达不到高产要求;秧苗已进入枝梗原基分化期,使无效分蘖增多,分散养分,增加枝梗和颖花退化,造成不实,影响穗大、粒多,产量下降。据测定,晒田过迟,影响穗部形状,比适时晒田的每穗实粒少20个左右,干粒重少0.4~0.7克,产量低4.2~20%。晒田的适宜时间,最好是栽秧后的20~25天,比早晒增产1.1~15%,比迟晒增产5.8~20%。

(四) 不同灌排型式与田间耗水量

全生育期灌水量、耗水量及耗水强度均以“浅水勤灌”最大,“湿润式灌溉”最小。不同的灌排型式处理之间,在粘土区“间歇式灌溉”比“浅水勤灌”减少耗水量16.7~42.3毫米,少耗水2.8~10.3%，“湿润式灌溉”比“浅水勤灌”减少耗水量75.4~173.5毫米,少耗水15.1~27.3%。在壤土区“间隙式灌溉”比“浅水勤灌”减少耗水量21.9~225.4毫米,少耗水3.1~18.6%；“湿润式灌溉”比“浅水勤灌”减少耗水量231.2~555.2毫米,少耗水24.1~45.8%。3种灌排形式相比较,采用“湿润式灌溉”可节约大量灌溉用水,这种灌排形式虽在壤土区产量不算很高,但在干旱缺水年份和地区,仍能达到省水增产的目的。

(五) 应用推广与灌溉效益

1980~1987年试验站在人民渠一处的彭县、广汉、什邡等县累计应用推广面积461.32万亩。彭县应用推广平均亩产459.9公斤,较该县中稻平均亩产407公斤,亩增产52.9公斤,达极显著水平;广汉应用推广平均亩产500.5公斤,较该市中稻平均亩产460.4公斤,亩增产40.1公斤,达极显著水平;什邡应用推广平均亩产466.1公斤,较该县中稻平均亩产426.0公斤,亩增产40.1公斤,达一般显著水平。

根据试验测定:“间隙式灌溉”较“浅水勤灌”亩增产26.2公斤,节省灌溉水87.1毫米;“湿润式灌溉”较“浅水勤灌”亩增产39.8公斤,节省灌溉水251.3毫米。3县(市)大面积应用推广平均亩增产44.4公斤,综合节省灌溉水169.2毫米。根据目前水稻收购中等价每公斤0.36元,灌区水费综合价每立方米0.01413元计算,“间隙式灌溉”比“浅水勤灌”亩增产值为9.43元,亩少用灌溉水价值0.82元,亩灌溉净值为10.25元;“湿润式灌溉”比“浅水勤灌”亩增产值为14.33元,亩少用灌溉水价值为2.37元,亩灌溉净值为16.70元;大面积应用推广亩增产值为15.98元,综合亩少用灌溉水价值为1.59元,亩灌溉净增值为17.57元,表明灌溉效益显著。

二 分析结论

(一) 在都江堰灌区不同土质地区, 合理的灌排型式有利于改善土壤通气环境, 增强杂交中稻根系的吸收代谢功能和植株养分积累, 提高成穗率, 促进粒数、粒重和产量的提高。在粘土区宜采用“湿润式灌溉”, 可比“浅水勤灌”平均每亩增产 60.2 公斤, 增产 19.8%; 在壤土区则宜用“间隙式灌溉”, 可比“浅水勤灌”平均每亩增产 30.4 公斤, 增产 6%。

(二) 晒田为杂交中稻灌排技术的重要环节, 晒田程度应根据土质、苗情、天气等情况灵活掌握, 土质粘重、肥力足、苗情旺的田块宜重晒; 土壤质地较轻的田块宜“中晒”或“轻晒”。晒田时间, 在播种后 70~75 天左右开始排水晒田, 至幼穗发育的一次枝梗原基分化终止前结束晒田最佳, 在这段时间范围以外晒田, 产量呈下降趋势。

(三) 粘土区采用“湿润式灌溉”可减少灌水量 116.0~155.5 毫米, 减少灌水定额 11.8~26.1 毫米, 省水 28.7~51.5%; 壤土区采用“间歇式灌溉”产量最高, 可减少灌水量 31.6~105.8 毫米, 减少灌水定额 3.2~63.4 毫米, 省水 7.9~32.8%; 在壤土区虽然“湿润式灌溉”产量不是最高。但可节省灌溉用水, 在干旱缺水年份和地区, 仍能达到省水增产的目的。

(四) 从试验调查看, 采用“间歇式灌溉”或“湿润式灌溉”技术只增加几次灌水, 缩短灌水时间, 不花投资, 简单易行, 应在灌区大力推广应用。有关不同灌排型式的灌溉经济效益, 晒田程度在不同土质上土壤湿度指标及相应的生理、生态指标以及对杂交中稻非敏感期的影响效应等问题, 尚待进一步深入试验。

三 成果鉴定

1988 年 10 月 5 日, 四川省水利电力厅组织对“都江堰灌区杂交中稻灌排技术的研究”进行了鉴定, 发出《技术鉴定证书》, 鉴定意见为:

(一) 此项研究是在我省杂交水稻推广初期根据生产发展需要和灌区生态条件提出的一项研究课题, 主题明确、针对性强, 具有较大的生产实用价值和一定的学术意义。

(二) 经过多点试验研究, 提出了都江堰灌区不同土壤条件下杂交中稻高产的灌排型式和适宜的晒田时间、晒田程度, 并运用于指导灌区生产, 完成了任务书的要求, 是一项应用技术成果, 根据四川省科技情报研究所 0078 号查新结果, 该项成果达到国内同类试验研究的先进水平。

(三) 生产实践检验证明, 此项成果具有明显的增产、省水效益, 符合都江堰灌区的生产实际, 可进一步推广, 也可供其他水源充沛的灌区参考借鉴。

第三节 土壤湿度、水分生理指标

1982年至1986年,都江堰管理局先后在都江堰灌区内的德阳(人民渠二处试验站)、彭县(人民渠一处试验站)、崇庆(外江管理处试验站)、仁寿(黑龙滩水库灌区管理处试验站)多点进行了不同土壤湿度对小麦、油菜生理、生态的影响及其水分生理指标的试验,同时结合外江灌区开展的小春作物种植期田间土壤水分测报,采用小麦、油菜适宜高产的土壤湿度指标确定灌溉的工作,进行较大面积的验证。通过试验测定,初步摸索到土壤湿度与水分生理指标的依从关系,提出了小麦、油菜在当前高产栽培下各生育阶段适宜的土壤湿度及相应的生理水分指标的适宜范围,可供作灌区适当灌水,制定合理的灌溉制度和进行灌溉预报的参考。

一 测试分析

(一) 不同土壤湿度对产量和耗水量的影响

土壤湿度与产量的关系:连续4年试验验证结果,小麦从幼苗到黄熟的中水分,比高水分亩产高20~45公斤,增产4.2~14%;比低水分亩产高29~46公斤,增产6.2~20.4%,达显著标准;从拔孕、抽开、抽穗到乳

熟阶段对比的结果分析,中水分也比高水分、低水分增产。油菜从苗期到成熟,中水分比高水分亩产高11.5~15.5公斤,增产7.2~9%,达显著标准;从分阶段的蕾苔、开花、成熟对比结果分析,中水分比高水分、低水分的增产效果也是明显的。上述试验验证说明,灌区小麦、油菜各生育阶段适宜高产的土壤湿度指标,是能适应当前生产的发展,取得灌溉增产效益的。

土壤湿度与耗水量:4年试验期中,由于受气候变化的影响,结果除小麦基本接近全生育期田间耗水量190.3~372.7毫米,平均为268.5毫米,日耗强度0.97~1.9毫米,平均为1.34毫米外,油菜较为偏小,全生育期田间耗水量只有195.4~350.7毫米,平均为265.1毫米,日耗水强度0.95~1.79毫米,平均1.36毫米。从不同的土壤湿度分析,仍是呈土壤湿度越高,田间含水量也越大的趋势。小麦在不同生育阶段高、中、低水分处理的田间耗水量,分别是293、260.7、246.1毫米;日耗水强度分别是1.47、1.3、1.24毫米。这与灌区多年试验结果一致,它们的日耗水量

过程线的变化趋势都是随着生育期向后推移,在春前日耗水量略有下降,近春时开始升高,小麦在拔节以后,油菜在抽苔以后有明显上升,直到小麦灌浆、油菜盛花时达到高峰,而后逐渐降低,呈前期小,中期大,后期下降的势头。这些变化主要反映了小麦、油菜的生态需水特点和生理需水特性。

植物的耗水系数:经4年测定结果是小麦在高、中、低水分三种处理中耗水系数分别是588.5、472.3、552.9,可见中水分每生产1公斤小麦消耗的水量都比高水分和低水分少。油菜在高、中水分处理中,耗水系数分别是1191.7、987.1,也证明中水分每1公斤油菜籽所消耗的水量低。从小麦、油菜全生育期的耗水情况分析,小麦中水分比高水分处理省水9.5%~15%,油菜中水分也比高水分省水8.8%~13.8%。说明小麦、油菜各生育阶段适宜高产的土壤湿度指标能达到降低水耗,促进增产目的。

(二) 不同生育阶段的水分生理指标

细胞液浓度:据连续4年测定,小麦、油菜叶片细胞液浓度与土壤湿度之间呈负相关,相关系数小麦为-0.936、油菜为-0.920。当土壤湿度高时,细胞浓度小,随着土壤湿度的降低,小麦、油菜叶片的细胞液浓度提高。通过对土壤湿度与细胞液浓

度观测的结果,不仅确定了他们的依从关系,而且还验证了土壤湿度指标及与之相对应的细胞液浓度适宜范围,小麦分蘖10~11%,拔孕12~13%。抽开14~15%,乳熟15~16%;油菜苗期10~11%,薹苔期12~13%,开花期13~14%,成熟期14~15%。与近期农田灌溉研究所的研究成果基本上接近。

叶水势:测定结果为叶水势与土壤湿度呈高度负相关。当土壤湿度大、土壤有效水增加,作物根系吸收水分容易,细胞含水量增大,水势高叶片吸取力变小;反之,土壤湿度小时,作物细胞不得不增大吸取力来吸收水分,这时水势就低。其变化还随着生育阶段逐渐向后推移,即细胞液浓度越浓,水势越低,吸取力越强;反之,水势越高,吸取力越弱。通过对土壤湿度与叶片吸取力依从关系的确定,也验证了土壤湿度指标同时取得与之相应的叶片吸取力适宜范围:小麦分蘖6~8大气压,拔孕8~11大气压;油菜苗期10~11大气压,薹苔期8~11大气压、开花期9~13大气压,成熟期11~14大气压。

自由水与束缚水含量:据试验测定,自由水和束缚水比值的变幅决定于土壤湿度的高低,当土壤湿度大时,植株体的自由水增多,自由水和束缚水的比值增大;在土壤湿度降低时,自由水减少,束缚水相应增多,两

者的比值就小。可见土壤湿度与自由水和束缚水的比值在正常情况下呈正相关。通过上述依从关系可以认为,从自由水和束缚水比值可用以衡量作物生理活性的大小。在测定中,小麦从拔节到抽开、油菜从蕾苔到开花,自由水和束缚水比值的增大,就是由于在这些时期必需增大土壤湿度来满足它们生长发育的急剧需求。这样既验证了适宜土壤湿度指标,也取得与之相应的自由水和束缚水比值的适宜范围。即:小麦分蘖 1.4~2.3,拔孕 2.0~2.6,抽开 2.0~3.0,乳熟 1.5~2.0;油菜苗期 1.5~2.7,蕾苔期 2.5~4.5,开花期 2.3~3.5,成熟期 1.8~2.0。

二 分析结论

(一) 4年连续试验验证,说明灌区小麦、油菜各生育阶段适宜高产的土壤湿度指标,是能适应生产的发展,显示确有减少水量消耗,提高单位面积产量的效益。故建议灌区在小麦、油菜的栽培中,在科学管理开展灌溉预报中加以采用。经试验验证完善的适宜土壤湿度指标是:小麦在幼苗、分蘖、抽开、乳熟、黄熟阶段应保持占田间持水量的 55~70%,拔孕阶段应保持 70~80%,如遇大气干旱,应相应提高 5~10%;油菜在苗期、成熟期应保持 70~80%,蕾苔期、开花期应保持 70~85%,如遇大气干旱,也应提高 5~10%。

(二) 土壤湿度与细胞液浓度、叶片吸取力呈负相关,与自由水和束缚水的比值在正常情况下呈正相关。当土壤湿度高时,细胞液浓度和叶片吸取力低,自由水和束缚水的比值增大。

(三) 连续 4 年试验测定,取得与适宜土壤湿度相对应的细胞液浓度、吸取力、自由水和束缚水的比值等的适宜范围是:

小麦的细胞液浓度:分蘖 10~11%,拔孕 12~13%,抽开 14~15%,乳熟 15~16%;吸取力:分蘖 6~8 大气压,拔孕 8~11 大气压,抽开 11~12 大气压,乳熟 12~14 大气压;自由水与束缚水比值是:分蘖 1.4~2.3,拔孕 2.0~2.6,抽开 2.0~3.0,乳熟 1.5~2.0。

油菜细胞液浓度是:苗期 10~11%,蕾苔期 12~13%,开花期 13~14%;吸取力是:苗期 7~9 大气压,蕾苔期 8~11 大气压,开花期 9~13 大气压;成熟期 11~14 大气压;自由水和束缚水的比值是:苗期 1.5~2.7,蕾苔期 2.5~4.5,开花期 2.3~3.5,成熟期 1.8~2.0。

三 成果鉴定

1987 年 1 月 13 日至 14 日,四川省水利电力厅组织对“都江堰灌区小麦、油菜适宜高产土壤湿度及水分生理的研究”进行鉴定,发出《技术鉴定证书》,其鉴定意见为:

(一) 该课题针对都江堰灌区的实际情况及小麦、油菜生产的实际需要, 主题明确, 取得结果已达到计划任务书要求, 是一项有价值应用基础研究成果。

(二) 成果资料齐全, 内容系统、丰富, 测试方法正确, 测试数据可靠。

(三) 成果提出的“小麦、油菜适宜高产的土壤湿度及其相对应的水分

生理指标”有一定的理论意义和较大的实用价值。为灌区小麦、油菜合理灌溉、提高产量、节约用水提供了明显的经济效益、社会效益和生态效益。

为使成果尽快转化为生产力, 希望进一步研究易于群众掌握的目测指标, 以利于灌区大面积推广应用。

第四节 泡田水量研究

1980年至1991年, 都江堰管理局为探求灌区节水泡田措施和泡田用水定额, 组织东风渠管理处、人民渠第一管理处、外江管理处和龙泉山灌区管理处试验站先后进行了不同水稻前作、土壤质地、耕作方式、地貌台位、泡田方法及水文年际等条件下稻田泡水量的测试研究, 提出了适应灌区自然生态条件下稻田的泡田用水定额和节水增产措施, 供灌区应用推广。

一 测试分析

灌区除盆周及丘陵为粘土外, 其余均为壤土, 地下水埋深1~3米, 土壤比重2.35~2.65, 土壤容量1.15~1.55克/立方厘米, 孔隙度39.5~49.4%, 田间持水量28~35%, 饱和含水量37~44%。秋种作物以小麦、

油菜为主, 约占灌区秋种作物面积的70%。通过较长系列的测试结果, 得到稻田的泡田水量影响最大的土壤质地和土壤水分。土壤质地受成土母质及发育程度支配, 但在耕作时又常使其变更耕层的性质; 土壤水分受土壤结构、质地、层次的影响, 随气候、前作物、地下水埋深的变化而变化。这样在灌区各地泡田用水量虽有较显著的不同, 但有一定规律可循。

(一) 不同水稻前作物、土壤含水量对泡田水量的影响

不同水稻前作物的泡田用水量的差异是由于其生长期的长短不一所致。苕青田、葫豆田一般在3月下旬至4月上旬泡田, 由于一般用作秧田, 在泡田早、面积小、零星分布和无地下水补给的情况下, 比实际用于饱和和

土层的水量有所超过,多年平均分别为122.1和147.6毫米,其中苕青田因根系土壤中分布密且深,能保持较多水分,故较葫豆田的用水量偏小。5月中、下旬泡田的是土豆、油菜、小麦、川芎、大麦、蔬菜等,土豆、油菜泡田时虽气温较高蒸发量增大,但有地下水补给,故用水要少一些,多年平均为104.1和110.1毫米;而大麦、小麦、蔬菜、川芎等作物由于植株不能全蔽土面,根系入土较浅,土壤损失水分较多,故泡田用水量较多,多年平均为132.2、130.3、134.5、149.3毫米。苕种、麻在5月下旬至6月上旬泡田已基本结束,周围田块栽秧,地下水补给量较大,故泡田用水量偏少,多年平均为37.2、76.8和78.7毫米。

据1980年至1991年实测资料,小麦、油菜等11种水稻前作物,泡田时土壤含水量与泡田水量呈相关,系数在 $-0.86\sim-0.98$ 之间,表明田间土壤含水量与泡田用水量的关系。降水或灌溉对土壤含水量的变化影响,在灌区的泡田时期还不明显。地下水埋深的变化对土壤含水量有影响,灌区地下水埋深在秋种期为2.01~2.07米,立春前后降至2.32~2.74米。3月回升到2.15~2.4米,4月为1.75~2.10米,5月为1.40~1.75米,6月为1.30~1.40米,土壤一般在地下水两米以内才有影响,故灌区

地下水对3月下旬至4月上、中旬泡田无影响,4月下旬以后才对泡田有不同程度的影响。

(二) 不同土壤质地对泡田用水量的影响

根据对灌区稻田剖面观察,在表土耕作层以下,一般都有一层质地细密、结构坚实,呈铅灰色的犁底层横于表土与心土之间,这是多年稻田进行水整犁耙镇压所形成的较上下两层渗透性较小的微渗层,因而犁底层越厚越高其毛管悬着水的能力越强,保水力越好。灌区一般轻粘、重壤土稻田犁底层厚且高,保水力较强,泡田用水量较少,中壤、轻壤分别次之。水稻前作物相同,在不同的土壤质地中泡田水量的大小差异主要是由于土壤质地不同产生的影响;而不同的水稻前作物,在相同土壤质地中所产生泡田用水量不一的差异,则是因不同前作物的生长期长短不一致,在季节的变换中有气温、蒸发、降水、地下水埋深等各种因素引起的。

(三) 稻田不同耕作整地、地貌台位对泡田水量的影响

灌区目前存在收种季节紧迫、劳力安排紧张的特点,稻田的耕作大致有机耕、牛耕、人挖和免耕等方式。通过1986年~1991年的实测资料,从泡田用水量来看,牛耕最多,人挖次之,机耕又次之,免耕最少。从不误农时,节省泡田水量,缓解春耕用水

集中打挤的矛盾来看，一般机耕较人挖、牛耕可节省泡田的灌溉用水量的 10.8~11.2% 和 18.7~20.2%，免耕较机耕、人挖、牛耕可节省 8.2~63.1%、17.0~74.0% 和 30.1~93.6%。1985 年~1991 年在丘陵灌区对稻田的地貌台位的泡田用水量进行测定，结果为漕冲田有地下水补给，且渗漏较少，比旁台田的泡田用水量减少 5.4~15.1%。

（四）泡田时间长短、灌水流量大小对泡田水量的影响

根据 1980~1991 年在人民渠一处灌区进行泡田时灌水流量大小对泡田用水量的影响测定，无论重壤、中壤、轻壤都是泡田时灌水流量越大，泡田用水量越少，泡田所经历的时间越短；反之，则流量越小，用水量越多，时间越长。这是由于稻田的渗漏量因泡田经历时间的长短而形成的。据此 1991 年又在外江灌区进行验证测试，无论在小麦、油菜、苕青、葫豆、川芎、蔬菜等的泡田时，都是泡田经历的时间越长，泡田的用水量越多。从灌区因泡田用水高度集中而存在的矛盾出发，搞好集中轮灌以增大其灌水流量来缩短泡田经历的时间和减少渗漏损失，能在一定程度上缓解灌区用水集中的矛盾。

（五）不同水文年型的泡田用水量

据在所测灌区内的成都、德阳、

绵阳、乐山、内江等市中的 21 个县（区）的 3~5 月降水量进行排频，得到保证率为 25%、50%、75%、90% 等典型年的灌区各水稻前作物的泡田水量，都是因为随降雨量的减少而增加了泡田用水量，既验证了各测点的实测资料，又为有关部门提供参考。

（六）不同泡田方法的泡田水量

灌区根据种植油菜、小麦面积的扩大，泡田时间集中等特点，推广了“及时淹水、及时犁耙、及时耙平、及时栽秧”的浅水泡田措施。即犁即耙，细碎土壤，促进微团粒及胶粒含量的增加，较快速地填塞了田底裂缝，降低渗透损失，同时采用修整田边与田埂，也减少了漏水量，节省了泡田用水量。这种泡田方法据测试结果，供测试的小麦、油菜等 9 种水稻前作物都不同程度地有节省泡田水量的效果，综合平均节水 16.8%。这种泡田技术如在全灌区推广，以 1991 年灌区各水稻前作物的种植面计算，一年节省泡田用水 10242 万立方米，可增加泡田面积 121 万亩或灌溉面积 15.5~22.5 万亩。按灌区灌溉效益成果测算，一年增产水稻 715.4~1035.7 万公斤，增加产值 429.2~621.4 万元，增加灌溉净增值 131.5~190.5 元。

（七）大田封闭区的泡田用水量及灌区泡田定额的确定

大田封闭区泡田用水量的测试，是为进一步验证测定数据的准确程

度。1991年东风渠处、龙泉山处、人民渠一处和外江处分别在灌区的龙泉区、简阳、绵竹、崇庆和都江堰市,进行31.8~87.9亩不等的大田封闭区测定泡田用水量,施测面积共257.44亩,水稻前作物有小麦、油菜、苕青、川芎、土豆等,土壤质地包括轻壤、中壤、重壤和轻粘,测定结果表明:东风渠灌区同年、同类土壤质地的小麦平均泡田水量为158.2毫米,封闭区测定为164.6毫米,相差+6.4毫米;龙泉山灌区同年同类土壤质地的小麦平均泡田水量为155.2毫米,油菜为165.1毫米,封闭区测定的小麦为157.7毫米,油菜为157.6毫米,相差+2.5和-7.5毫米;人民渠一处灌区同年同土壤质地的小麦、油菜、苕种、土豆的平均泡田水量分别为115.0、101.4、105.3和98.0毫米,封闭区测得小麦为111.0毫米、油菜为110.8毫米、苕种为113.5毫米、土豆为107.5毫米,相差分别为-4.0、+9.4、+8.2和+9.5毫米;外江灌区同年小麦、油菜、川芎平均泡水量为142.7毫米、156.6毫米、137.5毫米,封闭区平均是小麦151.7毫米、油菜151.9毫米,川芎147.2毫米,相差分别为+9.0、-4.7、+9.7毫米。误差范围在-4.7~+9.7毫米之间,所有测定数据基本接近,比较吻合,可用作灌区计算泡田用水量的依据。通过12年的连续测试,灌区的泡田定额

是:以各前作物多年平均的泡田水量与多年平均所占种植面积的比值相乘,分别计算所得各数值之和,即为灌区多年综合平均的泡田水量,经计算为124.7毫米(83.1立方米)。以典型年中各前作物的泡田水量与该所占种植面积的比值相乘,分别计算得各数值之和,即分别为保证率为25%、50%、75%、90%等典型年的综合平均泡田水量,经计算25%为119.6毫米(70.77立方米)、50%为127.2毫米(84.8立方米)、75%为129.7毫米(86.5立方米)、90%为136.5毫米(91.0立方米)。

二 结论

土壤水分和土壤质地对稻田的泡田用水量影响最大。土壤的含水量随气候、作物种类、地下水埋深等的变化而变化,田间土壤的含水量与泡田用水量呈负相关;在灌区的泡田时期因降水偏少,而一般年景多不灌溉等,故降水或灌溉对土壤含水量的影响还不明显,地下水在灌区4月下旬以后才回升到两米以内,对土壤含水量才产生影响的。

前作物不同的水稻田泡田用水量差异,主要是前作物生长期长短不一所致;不同土壤地质的同前作物泡田用水量的多少,主要是其保水能力的大小、吸收速度的快慢、渗透性能的强弱等而产生影响的。

经验证、分析、计算,灌区多年

综合平均的泡田定额是 124.7 毫米 (83.1 立方米), 保证率 25%、50%、75%、90% 等典型年综合平均的泡田定额分别是: 119.6 毫米 (79.7 立方米)、127.2 毫米 (84.8 立方米)、129.7 毫米 (86.6 立方米)、136.5 毫米 (91.0 立方米)。

改进泡田耕作技术, 可使耕层土壤性质变更, 针对灌区的生产特点, 从新法泡田衍生发展的“及时淹水、及时犁耙、及时耕平、及时栽秧”的泡田技术, 仍强调浅水泡田, 即耕即耙, 修整田埂, 同样有缩短泡田时间, 降低渗漏损失, 节省泡田水量的效果。经测试在推广应用后将产生巨大的经济效益和社会效益, 应在灌区内示范推广。其他如机耕、免耕和加大泡田灌水流量、集中输灌等措施, 均可因地、因时地推广应用, 以缓解灌区泡田用水高度集中的矛盾。

三 成果鉴定

1991 年 12 月 24 日, 四川省水利电力厅组织省农科院、成都科技大学、成都科分院、省水科所、省农水局和都江堰管理局等单位对“都江堰灌区稻田的泡田水量”进行了鉴定, 并发出《科学技术成果鉴定证书》, 鉴定意见为:

(一) 为改进灌溉管理, 指导农业生产, 提高科学用水水平, 所进行的都江堰灌区稻田的泡田定额研究, 主题明确, 针对性强, 经过连续 12 年多

点测试取得的成果, 达到计划任务书的要求。

(二) 研究工作中针对灌区土壤质地、水稻前作物等均较复杂的特点, 采用典型田块测试与较大面积的试验验证相结合, 在灌区内 21 个市、县(区)的 52 个乡镇选择具有代表性的地势地貌、土壤质地、地下水埋深等田块, 测试不同水稻前作物(苕青、小麦、油菜等 11 种)、土壤质地(轻、中、重壤和轻粘)、耕作方式(机耕、牛耕、人挖、免耕)、地貌台位(塍田、冲田)、泡田方法(新法与一般)及泡田时间长短等的泡田水量, 并在平坝与丘陵区分别进行 31.8—87.9 亩较大面积封闭的测试验证, 来确定灌区的信。

(三) 根据灌区自然生态条件, 选择降雨量进行排频, 得出不同频率的泡田定额及灌区多年综合平均泡田定额, 为灌区用水管理提供了科学依据, 具有较大的生产实用价值。

(四) 研究成果进一步证明了“四及时”的泡田技术和适当集中水量泡田方法具有明显的节水作用, 为即时栽插缓解了灌区泡田用水矛盾, 为农业增产创造了条件, 符合都江堰灌区的生产实际, 可进一步应用推广。

经成果查新报告, 该研究成果达到国内同类研究的先进水平, 具有较大的使用价值。

第五节 灌溉效益试验

灌溉效益是进行灌溉经济计算的基本数据,是评价已建灌区的实际效益,进行灌区开发的可行性研究、水资源开发和合理利用的重要参数,是当前水利经济计算中急待解决并具有现实意义的研究课题。1986年,都江堰管理局及灌区各管理处在灌区内的彭县、崇庆、金牛区、德阳、仁寿等地选择有代表性的田块,统一进行正规的杂交中稻、小麦、油菜灌溉效益的田间对比试验,同时在都江堰管理局试验站内开展杂交中稻典型年模拟试验,1990年完成试验,取得了杂交中稻、小麦、油菜的灌溉增产量值、节水灌溉的增产量值和灌区的灌溉效益。

一 测试分析

(一) 成果资料的可靠性检验

在灌区彭县、崇庆、金牛、简阳、仁寿等县(区)进行对比试验结果,杂交中稻1986年~1990年23个站年平均优化灌亩产541公斤,其中:平原区亩产545.3公斤,丘陵区亩产536.7公斤;一般灌亩产496.2公斤,其中:平原区亩产507.8公斤,丘陵区亩产484.6公斤;不补水的亩产427.3公斤,其中:平原区亩产423.4

公斤,丘陵区亩产431.2公斤。灌溉的比不补水的无论其生态表现、群体结构等均反映有灌溉增产的特征,同时采用节水高产的优化灌比灌区群众习惯的一般灌增产的特征也较明显。对产量结果经方差分析,并对各试验点样本方差进行同质性测验,其卡方值表明各样本方差估计值是同性质的,各试验站产量经过联合方差分析,均达极显著水平,证明地区与年度间的差异是显著的,其方法从总方差中分离出来,处理间差异即真实可信。小麦1987年~1990年4年5站15场平均优化灌亩产366.9公斤,其中:丘陵为357.1公斤,平原为376.6公斤;一般灌亩产331.3公斤,其中:丘陵为308.8公斤,平原为353.8公斤;不灌亩产300.7公斤,其中:丘陵为268.2公斤,平原为333.31公斤。优化灌比一般灌增产效果也较显著,产量方差分析结果均达极显著水平。油菜1987~1990年4年4站13场平均优化灌亩产161.4公斤,其中:丘陵为165.5公斤,平原为157.2公斤;一般灌亩产147.6公斤,其中:丘陵为145.4公斤,平原为149.7公斤;不灌亩产147.6公斤,其中:丘陵为

130.4 公斤,平原为 116.8 公斤。优化灌也较一般灌增产,产量经分析、测验,均达极显著水平,各样本的同质性测验,其卡方表明各样本方差来源同一总体是同质性的。上述方差分析及各样本同质检验结果,处理间及地区、年度间的差异均达极显著水平,各样本方差均差是同质性的,说明试验资料真实、可信,可作进一步的分析比较。

(二) 典型年的分析

开展杂交中稻典型年农田获得水量的模拟试验进行验证,来解决分析计算灌溉工程多年平均增产效益的实际问题,使在比较的年份内取得各种水文年份均适用的试验成果,即试验成果对于各种水文年份均具有通用性。1988 年、1989 年开展杂交中稻灌溉效益典型年模拟试验所得的结果是一致的,其灌溉增产效益均随典型年降水而有所增加,灌较不补水都有增产的特征表现,在进行方差分析测验的结果,灌溉处理的效应和典型年降水模拟处理效应,分别达显著或极显著水平,其灌溉与典型年组合效应也达显著水平,表明试验结果可靠。通过用作物腾发量排频从灌区小区对比试验中取得保证率为 25%、50%、75%及 90%等典型年的杂交中稻、小麦、油菜的灌溉增产效益与典型年模拟试验的趋势一致,表明在不同典型年灌溉的增产效益显著,试验结果真

实,资料数据可靠,以典型年的权重,加权求得平均值,可作为计算灌溉增产效益时多年平均的年增产效益。

(三) 灌水量与耗水量

杂交中稻的灌水量与耗水量平原灌区高于丘陵灌区,灌溉水的产品率丘陵区为 2.28~3.61,平原区为 1.01~1.35;而产品的耗水率丘陵区为 0.7~0.84,平原区为 0.89~1.34。小麦、油菜的灌水量与耗水量均是丘陵高于平原,灌溉水的产品率则是平原高于丘陵,产品的耗水率则与之相反,即丘陵高于平原。杂交中稻、小麦、油菜的优化灌均比一般灌有节省灌水量、减少耗水量和提高灌水产品率、降低产品耗水率的趋势。从排频所得杂交中稻、小麦、油菜典型年灌溉效益的资料,优化灌比一般灌也有不同程度的节省灌溉水量、减少耗水量、提高灌水产品率和降低产品耗水率趋势的显示,是当前应在灌区大力推广的节水增产措施。

(四) 灌溉效益的计算

灌溉的增产效益,是指经灌溉而增加的作物产量与产值在扣除生产费用后的效益。通过除灌溉因素外,严格控制其他因素一致的直接对比试验,进行数理统计分析测验,其结果确认真实可靠的基础上,用较长系列的腾发量资料排频,取得保证率为 25%、50%、75%和 90%等典型年的灌溉增产效益,并以典型年的权重,

加权求得灌溉多年平均增产效益,具有适用于各种水文年份的通用性。

以 1989 年全灌区实灌中稻 681.38 万亩、小麦 396.3 万亩、油菜 220.89 万亩,灌区管理运行和工程维修折旧共开支 3934.6 万元为例计算,都江堰灌区一年的灌溉效益是:

优化灌溉,全灌区可增产水稻 7.13 亿公斤、小麦 2.61 亿公斤、油菜籽 0.58 亿公斤,产值共 4.33 亿元;扣除管理运行、维修折旧费用后灌溉的净增值为 3.93 亿元,为历年灌区累计总投资的一半以上。一般灌溉全灌区可增产水稻 3.31 亿公斤,小麦 1.53 亿公斤,油菜籽 0.29 亿公斤,产值共 1.44 亿元,除去管理运行、维修折旧费后灌溉净增值为 1.05 亿元,为历年灌区累计总投资的 1/6。优化灌比一般灌全灌区可增产水稻 4 亿公斤,小麦 1.08 亿公斤,油菜籽 0.29 亿公斤,增值 2.88 亿元。

都江堰全灌区的灌溉效益,按目前灌区群众习惯的灌溉方式,一年的灌溉效益增加的主要农产品是粮食 4.66 亿公斤,油料 0.29 亿公斤,产值为 1 亿元以上。若全部采用优化灌溉,不但可以成倍增加灌区粮油产量与产值,还可节省灌溉用水量 7.41 亿立方米,相当于上亿立方米的囤蓄水库六、七座。据此,在灌区推广杂交中稻“湿润式灌溉”或“间隙式灌溉”和小麦、油菜按适宜高产的土壤湿度指

标灌溉等节水增产优化灌溉技术,是目前灌区农业再上新台阶的重要途径。

二 成果鉴定

1991 年 3 月 29 日,四川省水利电力厅组织对“水稻、小麦、油菜的灌溉效益”进行了鉴定,并发出《科学技术成果鉴定证书》,其鉴定意见为:

(一) 为正确评价都江堰灌区的灌溉效益,衡量灌溉水的经济效果,合理利用现有灌溉水资源所进行的灌区水稻、小麦、油菜灌溉效益的试验研究,立题正确、针对性强,经过连续五年多点试验研究,取得的此项成果,达到计划任务书的要求。

(二) 研究工作中针对灌溉经济计划要求采用“直接对比试验”和“模拟试验”,采用小区、大田和盆栽相结合,并以“扣除成本法”计算灌溉效益,技术路线和试验方案选择合理,资料齐全,测试数据可靠,结论可信。

(三) 该研究成果根据灌区自然生态条件,选择腾发量进行排频,得出不同频率的灌溉增产效益,为灌区灌溉效益计算提出了科学依据,具有较大的生产实用价值,其基本方法和计算方法,可供省内外其他灌区参考借鉴。

(四) 试验成果进一步证明了水稻“湿润式灌溉”或“间隙式灌溉”和

小麦、油菜按适宜土壤湿度指标灌溉等优化灌溉技术，具有明显的节水和增产效益，符合都江堰灌区的生产实际，可进一步扩大应用推广。

该项目试验研究成果达到国内同类研究的先进水平，具有较大的使用价值。

第四章 电子技术应用

1977年起,都江堰灌区管理部门为了及时准确地测报水位,合理地调配灌区工、农业生产用水,将电子技术应用到水利工程管理工作上,先后研制了“都江堰灌区集中调度系统”、“SWS—201型水位数据巡测系统”和“SZK—15型闸门自控器”,改善了都

江堰灌区的管理手段,使之能迅速地取得水位数据,以适应防洪和灌溉的需要。现除“都江堰灌区集中调度系统”停止研究外,其余两项均已正式通过省级鉴定,推广应用到其他灌区。

第一节 集中调度系统

一 设计方案

1977年7月20日,都江堰管理处革委会为了及时、准确地调配灌区工、农业用水,发挥都江堰水资源的效益,做好都江堰现代化的管理工作,在参考了永定河三家店进水闸、密云水库调节池闸门、京密引水渠跌水闸群等技术报道后,初步提出一套以数控系统为主体,部分使用DDZ—Ⅱ系列产品的都江堰节制闸群集中控

制装置来控制外江闸、仰天窝闸、蒲阳河闸、柏条河闸、走马河闸、江安河闸,测量沙黑总河、宝瓶口、仰天窝左、右渠段、蒲阳河口、柏条河口、走马河口、江安河口、聚源闸、石堤堰闸水位的技术方案。设计总投资15万元,作为1978年的工程项目上报省水利局、省农水处。并按方案购置了部分仪器、仪表等设备。

1977年9月都江堰管理处改变

设计方案，决定引进京密引水自动化工程的主要设备，1978年与北京低压电器厂、北京自动化仪表厂和北京市美术公司协作并委托上述单位生产全部设备。同时增加小罗堰闸和漏沙堰闸。1978年7月，当生产厂正处于设计阶段时，都江堰管理处又决定增加东风渠进水口、人民渠进水口、石堤堰闸，将控制规模扩大为9个站，控制范围为南北60千米，东西40千米。

1978年7月12日都江堰管理处经省水利局向水电部补报《都江堰闸群集控科研项目纳入计划的紧急报告》。同年12月，水电部同意都江堰管理处在总结北京密云水库引水闸群集控运行经验的基础上，对都江堰灌区闸群运行控制系统进行研究试点，要求于1985年实现灌区引水系统用电子计算机进行综合管理调度，并列入《1978年至1985年水利水电科学技术发展规划（草案）重点研究项目》。1981年，四川省水电厅将都江堰闸群集控工作列入《四川省水利电力科学技术“六五”计划和十年规划设想纲要（草案）》。

1979年11月，当生产厂家生产的主体设备陆续运到现场时，都江堰管理处再次提出要建立“总调”、“分调”、“自调”三层结构的控制系统，提出以“都江堰灌区集中调度系统”的设计，取代原“都江堰渠首闸群集控”的名称。该系统总体设想为

“总调层”与管理局相呼应，调度到岷江上游总流量、总渠首、六大干渠、主要枢纽、平原新灌区引水口，规划一个单元，包含中心调度，省厅转报，起距中继；“分调层”与管理处相呼应，调度到各支渠的配水点，规划十个单元，每个单元包括总调执行，处站联络，起距中继；“自调层”分布较广，构成点阵，对干、支渠系的诸分水、引水和用水点，按配定的流量实行自动调节和集中监测。在组建步骤上把“三层结构”划分为6个主项，即起点装置、信道网络、电脑设入、分调构成、闭环点阵和一次仪表。

1980年7月至1981年5月，集调组分3个阶段对设备进行了安装、调试。1981年5月11日，系统进行总调运动、渠首闭环、总调模拟、一次仪表、有线信道5个部分的试运行。1982年10月15日至22日，都江堰管理局组织有配水、调闸、集调三方面的人员进行调水试运行，要求根据常规调水指令，模仿现场操作程序，进行集中调水作业，对比人工调水作业和集中调水作业在操作特点和水流过程的规律，考核7种调度功能可供调水作业综合运用的适应潜力。

二 鉴定

1982年11月1日至7日，四川省水利电力厅在灌县主持了有科研、大专院校、生产应用、管理等32个单位共84位代表参加的“都江堰灌区集

中调度系统”鉴定会,并于11月17日发给了《技术鉴定书》。

(一)作为国内开展灌区管理调度自动化的起步项目之一,系统研制过程所遵循的设计思想、总体结构、设备研制和工程实施的具体方针,都是正确、可行的,某些经验,可供同类系统研制工作参考。

(二)系统在技术分项的划分、设备的造型和装置性能指标的制订诸方面,符合都江堰水利工程的具体情况,从当时制定规划的国内技术条件看,五项技术装置的质量是良好的,性能也比较稳定可靠,基本上达到了系统设计的要求。

(三)系统实现的7项调度功能,在安排上是合理的,其技术指标的制定符合都江堰水利工程的具体情况,对7项调度功能抽查测试所获得的数据,符合系统技术指标要求;这7项功能的综合运用已在1年多来的系统试运行和调水试运行中行之有效。

(四)系统技术文件、图纸资料基本完整,未发现明显的技术问题。

(五)建议抓紧进行系统数学模型、优化决策软件和电脑选型购置等工作,以尽早获得系统潜在的经济效益,认真作好弥补薄弱环节的工作,对有线信道进行改造完善并及早完成备用信道的建立和无线信道的研制,要重视水利、水文和机电设施等方面的配合工作,安排调度管理人员的技

术培训,希望都江堰管理局组建总调度室创造条件,筹备运行。

鉴定会后,都江堰管理局与中国科学院武汉数学物理研究所于1983年9月24日至28日联合召开了都江堰灌区集中调度系统数学模型与优化决策软件方案论证会,提交了《都江堰灌区集中调度系统渠首工程系统分析》与《都江堰灌区集中调度系统数学模型与优化决策算法结构》两篇阶段性研究成果,另准备了18篇论文作为总体方案的附件报告,并形成《纪要》。

三 存在问题

都江堰灌区集中调度系统因多方面的原因,一直未投入运行使用。1984年11月9日和12月3日,省水电厅两次主持了“集调”工作汇报及讨论会,就在都江堰“集调”的发展过程中存在的技术问题、现状及今后的工作等进行了讨论,并形成《纪要》,于1985年2月2日上报水利电力部。

《纪要》的主要内容为:

(一)“集调”从1977年规划设计开始,考虑的就是用一套自动化装置实现都江堰渠首闸群的集中控制,但是没有形成“系统设计”。1978年为生产厂家设计阶段,1979年为设备制造阶段,仍是围绕引进设备和“都江堰渠首闸群集控”进行工作的。1979年11月,主体设备已制造并陆续运到现

场时才提出要建立一个三层结构的控制系统，提出“都江堰灌区集中调度系统”的设计，取代以前的“都江堰渠首闸群集控”的名称，但在实际工作和实施步骤上仍然照旧，没有实质上的改变。

“集调”系统设计提出要建立一个三层递阶控制结构的大系统，最终目标是要实现岷江水资源的合理利用和灌区的集中调度，即要掌握岷江上游水资源的形成和变化、掌握灌区数百万亩各种农作物和工业、城市生活需水情况及作物生长、田间耗水等状况，优化决策分配水资源，并从总调度层和自调层将水分配到干渠、分干渠、支干渠、支渠以至田间，这从理论上讲是可能的。但要建成这样规模的“集调”系统必须涉及气象、地质、水文、农学、土壤、生化、机械、通讯、生态、电子、自控和计算机等多种专业，是一项大型的系统工程，需要研制大量设备，需要巨额投资，这对管理单位都江堰管理局来说有较大的难度，在未作具体分析计算而又无法估算和确定经济效益的情况下，同时“集调”系统设计仍处于对水利规律未摸清的基础上，没有明确的具体的技术经济指标，对其可行性缺乏应有的研究和讨论。因此，如何开展这个项目的的工作，需慎重研究。

(二)“集调”鉴定筹备会在检查准备情况时，都管局未能完整地提出

鉴定必备的7种文件资料。技术指标是筹备会临时提出的，并且是在会后进行考核的。如：研制报告中提到的操作闸门命令失误率 $<10^{-5}$ （10万次无1）的考核，是用不停地按动按钮的方式来测定，并没有与闸门联动。在安装调试等过程中发现的未能解决的技术问题，没有提交鉴定会讨论。系统未按生产要求运行，也没有“一对九”及全部功能的同步运行。系统鉴定意见书中“7项功能的综合应用已在1年多的调水试运行中行之有效”是不确切的。意见书中操作闸群功能命令失误率 $<10^{-5}$ ，自动操作精度 $\pm 3\text{CM}$ （微动次数 <3 ），给人的概念是联了闸门，而不是只到磁力启动器。并且“集调”的主要设备如：“渠首小闭环”、“一次仪表”及分线柜等均未进行产品（装置）鉴定。

(三)“集调”自1982年11月鉴定会后，还没有完成全面的巩固、完善及弥补不足的工作，虽耗资126万多元，仍不能投入生产发挥效益，并且存在若干技术问题。

遥测：水位、闸位变送器工作条件恶劣，从1980年7月示范安装后至1982年4月鉴定筹备会期间，总计150台变送器中，有80多台发生过故障，共修理130台次（当时计算为每3天坏两台）。至1983年止，所有的变送器均坏过，总计修理250台次，变送器标准精度应为1%，即误差为士

100NA,折合水位差±3厘米,但有一部分变送器输出不稳定,波动超过±300NA,折合水位差±9厘米,按一般水位折合流量相差10~20立方米每秒。

遥控:都江堰各主要闸门,以前均有完整的启闭设施,均采用380V磁力启动器开启电动启闭机调闸。在安装“集调”时,排除了用中间继电器衔接的方案,拆除原有380V磁力启动器,采用36V的磁力启动器直接与自动化设备连接的方法。由于36V线路要经过桥闸限位开关,往返线路长,接点较多,降压较大,虽采用4mm²的铜线,还是常发生磁力启动器主触头吸合不稳,来回抖动,产生电弧,大量烧毁触头,有时还造成电机缺相问题。

遥调:渠首小闭环从设计本身就

存在问题,同时组成闭环的仪表精度可靠性差,并且未进行系统、全面的试运行。

其他:分线柜(报警板)由于变送器的误差和漂移,加上分线柜本身的漂移,往往出现误报警而使闸门不到位就停止运转,此时即使人工操作也因电源已断而无法启动闸门。整个集调系统没有可靠的接地。有线信道要求独立信道,运动设备同频“收”、“发”不能保证远站正常工作等。

《纪要》最后认为:根据实际情况,集调系统应适当收缩,暂时放弃远站,集中力量实施渠首闸群控制,在功能上进行较易实现的,在工作中取得经验,攻破难关,待有足够的把握后再从近到远,从简到难,逐步发展,最终用计算机实行控制。

第二节 水位巡测系统

1977年以前人民渠灌区一直沿用人工观测水位、电话传报水情来分配水量的方法。用水时往往因水位传报不及时而耽误水量调配和防洪工作。为了改善管理手段,适应灌溉、防洪的需要,及时取得准确的水位数据,1977年7月,四川省水利电力厅以川水(77)字第171号文批准由人民渠管

理处和成都电讯工程学院共同研制水位数据巡测系统。1981年完成收端机、发端机、水位传感器和电传打字机接口设备的研制工作。经一年时间的试运行,于1982年11月11日通过了四川省水利电力厅和四川省四机局联合主持的技术鉴定,并于1983年1月获四川省人民政府重大科学技术成果

四等奖。

一 用途

SWS—201型水位数据巡测系统是收集水位、雨量等数据的自动巡测设备，能定时自动收集、显示和打印记录。巡测系统共有19个观测点，分定时和不定时自动巡测和人工指定单站选测等三种方式，作定时巡测时，可根据需要的观测时间自动开机，依次轮流向各观测站自动收集数据；人工指定单站选择，是为在特定条件下收集某个测站的数据而设置的。

整个系统可进入多种信道，有占用频带窄、抗干扰能力强、省电等多种适用性能。

二 性能指标

容量：19个观测点（可扩充到99个点）。

测量范围：水位0~999cm。

沙位0~89cm。

电源正常显示6v。需要电池显示5v。

测量误差：±1cm。

占用频带带宽：400~2000赫。

信道：架空明线或载波信道。

遥测距离：线径4.0mm的双铁线，距离不小于80km（允许最大传输衰耗>40db，连同失误衰耗在内）。载波、无线信道的传输距离取决于信道机。

传输速率：需另加同步提取电路，使传输数码速率可高可低，也可

以一个测点高、另一个测点低，最高可达每秒150比特（载波滤波器通带无偏差时）。

电源：观测点，直流6v、工作电流<450A；待令电流<8MA。中心设备交流220V，功率<44VA（不包括电传打字机和接口设备）。

三 运行效果

系统于1982年鉴定后交与人民渠管理处使用，中心设备设在管理处，发端机分布在以下8个测站：

进水口测站、长寿桥测站、谢家碾测站、杨柳堰测站、红岩渠测站、慈母山测站、石亭江测站、五、七期分水口测站。

其中进水口、长寿桥、谢家碾3个测站共用一对电话线，距离16千米，线径3.5毫米；杨柳堰、红岩渠两个测站共用一对电话线，距离21千米，线径4.0毫米；慈母山、石亭江，五、七期分水口3个测站共用一对电话线，距离72千米，线径4.0毫米。此线装有两路载波，传数据用实线话路。

上面8个观测站是人民渠灌区农田配水的重点交接水位站，也是防洪防汛站，使用系统后，改变了由人工观测、电话报送水情不及时的情况，为定时自动巡测、及时准确调水、配水和防洪报汛创造了条件，提高了管理水平。

SWS—201型水位数据巡测系统

目前已被湖南省韶山灌区、欧阳海灌区、陕西省石门水库、新疆的库尔勒

和叶尔羌灌区、甘肃省的青铜峡灌区等水利部门应用。

第三节 闸门自控器

1978年,通济堰管理处为了准确控制渠首进水闸的引水流量,满足灌溉和防洪安全的要求,研制出只能输出单个启闸和闭闸程序的单功能、小容量的SLJ—2型晶体管水闸自动控制器。1980年,通济堰管理处又研制了能输出两个(或两组)启闸或闭闸程序的SLJ—3型水闸自动控制器。要控制多孔闸门启闭,仍需靠行程开关转换控制。针对多孔闸门程序控制的需要,通济堰管理处与成都整流器厂联合再次研制出“SZK—15型晶体管闸门自动控制器”,可根据需要设3个档位,控制5孔、10孔、15孔闸门。

一 技术指标

容量: SZK—15型闸门自控器能直接控制功率为10千瓦以下的闸门启闭机1~15台。如果增加中间继电器通过并组,其容量还可增加。

精度: 当观测井内水面较平静时,水位误差小于1厘米;当涌浪较大时,水位误差小于5厘米。

调节时间: 初始时间在10~15秒内可调,工作时间在4~90秒内可调,间断时间在140秒内可调。

保护: 动力电源缺相时,自动切断电源,并有缺相信号显示;水位失控,超越上、下水位限额时,有声光报警;电网停电时,自动调换备用电源;电网及备用电源均停电时,仍可继续监视水位,并对上、下限额水位报警。

适用条件: 水位测井距闸门不超过200米,距控制室不超过5千米。

二 结构原理

SZK—15型闸门自控器,由主机和传感器(水触头)两部分组成。传感器设定所需水位并感测水位变化送回反馈量,经主机比较判断并输出间断控制信号,步进式开、关闸门,调节水位升降。所以,只需将传感器放置于水位测井内,根据需要控制的水位安放传感器位置或按不同时期进水量的需要,改变传感器位置就可达到控制新设定渠道的水位。

(一) 传感器。传感器由6个水触头组成,它的工作原理是利用水的导电性,接通或断开相应的晶体管水位开关,从而起到传感水位变化的作用。触头1是+12v电源接水点,触头2是下越限水位报警触点,触头3是

设定保持水位的低限触点，触头 5 是设定保持水位的高限触点，触头 4 是设定（保持）低水位辅助控制触点，触头 6 是上越限水位报警触点，各水触头均用导线与主机相连。

（二）自控装置工作原理：当水位低于触头 3 时，由于触头 3 悬空，使晶体管水位开关部件中相应的晶体管工作，而使上升振荡电路起振，产生脉冲信号触发单稳延时电路（时间可调），经计数译码后，使相应的上升继电器输出继电控制信号，控制对应的启闭机，使电动机正转，闸门上升，上升到一段时间（4~90 秒可调）后停止，等待已变的水位达到测井并稳定后（时间可调），如反馈表明水位还未达到触头 3 的高度，闸门又继续上升，如此数次步进后，当水位达到触头 3 的高度，晶体管水位开关使上升振荡电路停振，闸门停止上升，水位保持这一高度。同理，当水位高于触头 5 时，通过晶体管水位开关，使下振荡器起振，经单稳延时、计数、译码后使相应的下降继电器输出继电控制信号，控制对应的电机反转，闸门下降，数次步进后，当水位降至触头 5 以下时，闸门停止下降，保持水位，当水位低于触头 2 或高于触头 6 时，发出水位下或上的越限声光报警，水位升至触头 2 以上或降至触头 5 以下时，报警停止。

三 成果鉴定

1984 年 1 月 6 日至 9 日，四川省

水利电力厅和成都市电子仪表工业局联合组织对“SZK 系列水闸自动控制装置”进行了鉴定，并发出《技术鉴定证书》，鉴定意见为：

（一）本装置系以四川乐山地区解放渠管理处 1981 年科研成果 DDJ—15 型为基础，并根据协议书的需求，于 1983 年在 DDJ—15 型原理的基础上进行了改进设计，在结构上进行了重新设计。整个设计指导思想是正确的，在产品性能与外观上都有较大提高与改进。图样及设计文件齐全，符合标准，基本准确。

（二）线路设计合理，布局紧凑，结构简单，维修、安装、操作简便，价格低廉。

（三）根据现掌握的资料看，该装置在国内目前水闸自动控制设备中具有较先进水平。

产品对于实现闸门自动控制，提高控制精度，改善工作条件，减轻劳动强度，提高工程的安全可靠性和经济效益，具有重要意义，可在水利水电工程部门推广应用。建议上级有关部门准予设计定型，小批试制并给予新产品成果奖励。

四 推广应用

SZK—15 型闸门自控器已在四川省的东风渠灌区、黑龙滩水库灌区、玉溪河灌区、通济堰灌区、跃进渠灌区、总岗山水库灌区使用。福建省和河南省也各自在省内推广。

第五章 规 划

都江堰工程规划是在总结历代对**都江堰建设**的经验基础上,分析灌区水源区的**水源条件**,预测国民经济各部门的综合利用**需求**后而提出对都江堰灌区建设的全面规划。规划以岷江

水源为主,辅以边缘山区水源,使都江堰的工程规划起到灌溉、防洪、水产、发电、环境保护以及旅游等综合利用效果。

第一节 工程改造规划

都江堰平原灌区的工程没有随着灌区的扩大和用水需求的提高而相应地改建、扩建,因此,已不能适应灌区防洪和国民经济发展的需要。最突出的是石堤堰和东风渠引水枢纽,府河和人民渠一至三期干渠,已成为威胁成都市防洪安全,影响进水和输水的“卡脖子”工程,岷江有水引不进,输不走,急需进行改建扩建。基于这现状,都江堰管理局和灌区各管理处组织力量进行改造规划工作,1985年9月完成并上报,10月20日,水利电

力部同意对都江堰灌区进行改造并提出具体要求。

一 改造措施

都江堰平原灌区的工程改造已作了规划,根据工农业生产的需要,“七五”期间应完成的项目为:

(一) 石堤堰枢纽工程改建

石堤堰枢纽工程位于都江堰内江水系的柏条河、徐堰河汇流以下60米处。该工程建于1960年,由府河进水闸、毗河冲沙闸、溢流坝和船闸等建筑物组成。担负成都市的防洪、工业

和生活用水,东风渠、府河灌区 338 万亩农田引水及漂木任务。现工程已不适应防洪和工农业发展的需要,原因为:该工程原设计洪水流量仅 300~320 立方米每秒,小于国家规定的一百年一遇洪水流量 883 立方米每秒的标准;府河进水闸最大引水流量 65 立方米每秒,小于东风渠总干渠设计流量 80 立方米每秒和成都工业生活用水、府河灌区农业用水 45 立方米每秒共 125 立方米每秒的要求;原工程设计标准低、整体性差,运行 30 年自然老化,混凝土剥蚀,钢筋裸露、闸墩变形,闸门启闭困难,已无法安全运行。1985 年四川省政府审批了工程初步设计,方案为全部拆除原有工程,重建钢筋混凝土结构枢纽,整治 1000 米河道。新枢纽由毗河节制泄水闸、府河进水闸、分水鱼嘴和漂木通道墙组成,按二等二级水工建筑物设计,工程总投资 900 万元。计划 1986 年 11 月修建毗河闸,1987 年 11 月修建府河闸,1988 年 5 月完成全部工程。

(二) 府河改造

府河从石堤堰到成都以西的洞子口长 27.2 千米,是一条担负输水和漂木并兼排区间洪水的综合利用河段。目前主要存在问题是该河为古河道,迂回曲折,弯曲率达 1.8,岸低堤薄,河床淤积,河岸垮塌,是东风渠五、六期工程的未完工程,只能通过 70 立方米每秒的流量,不能满足输水 125 立

方米每秒的设计要求。该河洞子口处集雨面积 135 平方千米,20 年一遇的区间洪峰流量 274 立方米每秒,而目前府河下段只能通过 120~180 立方米每秒的流量,排洪能力不足。另外府河每年漂木数十万立方米,由于河岸单薄,河道弯曲,漂木撞垮河岸,堵塞堰口危及两岸安全,影响支渠进水。府河改造方案是:根据地理位置尽量利用原有河道,裁弯取直,新河段上接改建后的石堤堰枢纽,下衔洞子口,全长 15.8 千米,始端河底宽 25 米,设计水深 2.4 米,流量 125 立方米每秒,末端河底宽 35 米,设计水深 3.22 米,流量 280 立方米每秒,改建五条支渠进水口和各种渠系建筑物 60 座。工程总投资 1780 万元,计划在两年内完成。

(三) 东风渠引水枢纽改建

东风渠引水枢纽位于石堤堰以下 16 千米的府河上,由东风渠进水闸和府河漂木枋槎组成。由于府河上无节制闸,全靠自然分洪,加上枋槎贴漂堵水,造成东风渠引水困难。近年虽采用缩窄府河宽度,抬高府河底等方法,年引水量也只有 7 至 10 亿立方米,比年需水量 15 亿立方米少 30~53%。另外,减少了府河过洪断面,行洪不畅,威胁进水闸安全。改造方案为结合府河改造,改建东风渠引水枢纽。新枢纽由东风渠引水闸、府河节制闸和导漂工程组成,按 50 年一遇洪

水 252 立方米每秒设计, 200 年一遇洪水 318 立方米每秒校核。总投资 1240 万元, 计划在两年内完成。

(四) 人民渠一至三期干渠扩建

人民渠在蒲阳河引水, 1953 年以来先后七次续建、扩建, 现有干渠 515 千米, 控灌成都、德阳、绵阳、遂宁 4 市 12 县农田 417 万亩。1975 年四川省水电厅批复“渠首引用流量 150 立方米每秒, 以下分段控制”的规划后, 已逐年按新的设计标准改建了大碑堰、小石洞涵洞、慈母山拦河坝等工程, 扩建了四期工程。人民渠进水闸能引水 150 立方米每秒。但一至三期干渠未按新设计标准扩建, 成为灌区的“卡脖子”工程。主要原因是: 原渠首段设计流量 60 立方米每秒, 经加高培厚整治后提高至现在的 90 立方米每秒, 但运行多年后工程老化, 不安全因素增多; 干渠长期超负荷带病运行, 部分渠段渗漏严重, 过水能力下降, 水的利用系数低于全国同类工程水平; 干渠输水能力不足, 每年春灌期间蒲阳河有水引不完, 不能缓解灌区大面积集中用水的矛盾; 干渠排洪量小, 滞洪运行, 时排时灌, 影响灌溉。一至三期干渠全长 56.56 千米, 需扩建渠道 54 千米, 改建、新建渠系建筑物 392 处, 防渗整治鸭子河 6.1 千米。总投资 3100 万元。时间安排根

据资金落实情况, 本着确保现有工程效益, 从上而下分年逐段实施的原则进行安排, 1987 年扩建渠首至杨柳堰段共 21 千米。

改建石堤堰、东风渠引水枢纽和扩建府河、人民渠一至三期 4 项工程, 共需投资 7020 万元, 计划“七五”期间完成。

二 效益

完成上述 4 项工程后, 其主要效益是:

(一) 成都市的洪水威胁可以减轻。

(二) 府河可增引水量 7 亿立方米左右, 为成都市工业和生活用水多提供水量 3~4 亿立方米, 为东风渠多引水量 4 亿立方米左右, 以满足东风渠五、六期灌区用水。

(三) 调配水量更加灵活, 减轻灌溉、输水和防洪矛盾, 缓和栽秧高峰期的用水矛盾, 多向人民渠六、七期灌区输水 7 亿立方米左右, 为未受益的 100 万亩农田提供水源。

(四) 基建项目完成后, 现有 886 万亩的灌溉效益可以得到巩固, 若结合在岷江上游及灌区周边山区修建蓄水措施, 不仅都江堰灌区每年 3~5 月的缺水问题可以解决, 整个灌区的灌溉面积将达到 1086 万亩。

第二节 平原渠系电站规划

为加快都江堰渠系水力开发，为成都平原城乡电气化提供电源，四川省水电厅会同省电力设计院、省水利水电设计院、成都市水电局及都江堰管理局等单位组成领导小组，于1983年10月开展了都江堰平原渠系水力开发轮廓规划工作，同年12月完成第一阶段工作，并提规划报告。

通过规划，查清了都江堰平原渠系水力资源的天然蕴藏量为77.3万千瓦，可开发量32.98万千瓦，总电量17.6亿千瓦时。其中建设条件较好拟列入近期开发的电站有24座，装机容量8.67万千瓦，占规划电站装机容量的36.5%，多年平均发电量5.20亿千瓦时。规划电站80座总投资3.97亿元，其中近期工程总投资1.35亿元。

一 规划原则

根据都江堰的功能和灌区特点，规划在总体布局上遵循以灌溉为主，确保城市生活用水，满足漂木结合防洪的前提下，进行水力梯级开发，并适当结合渠道的技术改造，以达到一水多用，充分发挥水力资源作用的目的。在梯级布置上具体要求是：电站取水应结合原有渠道取水考虑，凡电

站进水口不在同岸的必须在原进水口以下另行引水，以确保灌溉；以合理开发资源为主适当结合行政区划，以利今后实施；以现状为主，远近期结合；干支渠渠首电站和场镇附近的电站，要注意严格限制水位，以不影响防洪和分水、进水为准；在开发方式和工程布置上要注意避免高填、深挖，少占地和不占好地，梯级水头控制在6~8米；电站布置应注意河道的通畅，不能影响灌溉、防洪。

二 电站规划

通过统一规划，在平原五大干渠上共规划电站80座，总装机容量23.78万千瓦，占天然蕴藏量的30.7%，加上已开发的9.2万千瓦，共32.98万千瓦，占天然蕴藏量的42.7%，其中：蒲阳河14处，装机容量7.68万千瓦；走马河28处，装机容量8.88万千瓦；江安河15处，装机容量2.98万千瓦；沙沟河13处，装机容量2.91万千瓦；黑石河10处，装机容量1.38万千瓦（见表6-13）。柏条河为漂木河道，暂不考虑水力开发。规划电站全部为无调节的径流式电站。在开发方式上多以引水式为主，其中90%以上电站具有低水头、

流量大等特点。根据规划电站的建设条件、技术经济指标和地方、集体资金的筹备等条件，初步选择了蒲阳河玉带桥等 24 处作为近期建设项目，共计装机容量 8.67 万千瓦，占规划电站的 36.5%，总年发电量可达 5.2 亿千瓦时。其中蒲阳河 11 处，装机容量 6.171 万千瓦，占近期工程的 71.2%；走马河 4 处，装机容量 0.866 万千瓦，占 10%；江安河 4 处，装机容量 0.573 万千瓦，占 6.6%；沙沟河 4 处，装机容量 0.932 万千瓦，占 10.7%；黑石河 1 处，装机容量 0.126 万千瓦，占 1.5%。在近期开发的项目中，蒲阳河从蒲阳镇起至人民渠进水口之间，进行了左、右岸各分 3 级开发的方案比较，初步认为左岸开发为宜。

电网发展方案，曾经作出几个方案进行分析比较，现推荐一种方案。将灌县、彭县的余电集中在灌县蒲阳河的双鱼塘电站（规划电站），升压为

110 千伏，再将汶川县的草坡电站 110 千伏线路延长 7 千米接入双鱼塘电站，共同向成都送电。在郫县犀浦镇设 110 千伏降压站，以 35 千伏输电线路分别向缺电的温江、郫县、新都和成都送电。在成都郊区设 3 个 35 千伏降压站，专供城市的生活电热。为能相互调剂，应尽量争取与大电网并网运行。这样既解决了成都生活电热用电的电源，又解决了无调节性能的都江堰渠道电站和草坡电站丰水期有大量电能难以上网的具体困难，也解决了成都供电局金凤山变电站集中大量电力送不出去，需造电网的问题。

规划联网方案需增加 35 千伏线路 9.8 千米，110 千伏线路 42 千米，增建 1 个 110 千伏降压站。3 个 35 千伏降压站，共需投资 711 万元。如统一调度经营管理较好，每年可增加利润 496 万元。

表 6-13

都江堰平原渠系规划电站统计表

单位：电量—亿千瓦时
装机—万千瓦

河名	蕴藏量		可开发量									可开发占蕴藏量 (%)		已开发占可开发 (%)	
			已开发			规划新增			小计			装机	电量	装机	电量
	处	装机	电量	处	装机	电量	处	装机	电量	装机	电量				
蒲阳	22.55	19.75	113	4.37	1.47	14	7.68	4.57	127	12.05	6.04	53.4	30.6	36.3	24.3
柏条	9.61	8.42	31	0.32	0.09				31	0.32	0.09				
走马	21.50	18.83	54	1.43	0.64	28	8.83	5.16	82	10.31	5.80	48.0	30.8	13.9	11.0
江安	8.87	7.77	22	1.01	0.39	15	2.93	1.86	37	3.94	2.25	44.4	29.0	25.6	17.3
黑石	4.94	4.33	39	0.69	0.23	10	1.38	0.90	49	2.07	1.13	41.9	26.1	33.3	20.4
沙沟	9.82	8.60	109	1.38	0.68	13	2.91	1.72	122	4.29	2.30	43.7	26.7	32.2	23.2
合计	77.29	67.70	368	9.2	3.40	80	23.78	14.21	443	32.98	17.61	42.7	26.0	27.9	19.3

注：另有支渠规划电站 295 座，总装机 1.58 万千瓦，年发电量 0.54 亿千瓦时，未计入表中。

四 实施意见

为合理开发水力资源，避免能源浪费，凡在本区内兴建电站，均应按照规划的总体布局进行。由于都江堰担负着灌溉和城市工业生活用水的任务，凡渠系上修建电站，要与水利管理部门会签用水合同后，才能上报主管部门，以确保灌溉配水的实施。鉴

于都江堰灌区的特点在建、管、用之间的关系和统一协调问题，建议省府责成有关部门统筹安排。坚持国家办电与地方各级办电相结合的方针，请中央对近期工程补助 5 千万元，其余由地方各级政府集资和以劳务投资方式解决。

第三节 灌区总体规划

根据四川省国民经济发展的要求，四川省水利水电勘测设计院总结了都江堰的建设经验，分析灌区水源条件，并预测了国民经济各部门的综合利用要求，在研究了多种规划方案后，于 1989 年编制了《都江堰总体规划报告》。

规划方案将利用岷江上游水源的 76.8%，平原区地下水资源的 61.7%，周边山区水资源的 20~25%，丘陵区水资源的 30~40%。同时对可供水量进行分配，灌溉用水占 59%，工业生活用水占 33.1%，成都环保用水占 4.4%，平原灌区综合用水占 3.5%，使之起到发电、防洪、水产、旅游等综合利用目的。总体规划以岷江水资源为主，在上游规划了紫坪铺等骨干水库，使径流得以调节，以洪补枯增加供水量。灌区有完善的

水库渠系及分水枢纽、电站等工程配合，利用灌区西北高、东南低的地势条件，使灌区内水资源可以灵活调动，发挥大、中、小、蓄、引、提相结合的作用，为灌区内国民经济各部门的协调发展创造条件。

一 发展要求

都江堰工程是一个大型水利工程，灌区范围愈来愈大，粮食产量逐年提高；工程功能愈来愈多，综合效益显著；整个工程有健全的管理机构和管理制度，有先进的科学技术指导，是四川省经济、社会、环境效益显著的综合利用工程。但是，随着国民经济的发展，工农业和生活用水的日益增长，各国民经济部门综合利用愈来愈多，规划区内尚存在不少制约经济的问题。

(一) 缺水突出。岷江上游水源虽

然丰富,但无调节工程控制,致枯水期用水矛盾突出,不能满足灌区内综合用水大量增加的要求,平原灌区枯水期多年平均缺水 2.7 亿立方米,大旱年缺水 6.7 亿立方米。由于缺水,每年都有几十万亩农田不能适时插秧,加上丘陵灌区年缺水 8.42 亿立方米,更不利于粮食生产。在用水高峰期成都市日缺水 20 万吨,给工业及生活用水带来困难。

(二) 缺电。岷江上游与灌区内水能资源丰富,但开发利用少,而工业用电大量增加,近、远期电力缺口很大。

(三) 洪水威胁。由于平原河流多从灌区西部暴雨区进入平原,而平原区河渠纵横,河床宽浅,一遇洪水经常造成平原洪涝灾害,特别是岷江上游干流洪水直接威胁金马河两岸和成都平原的安全。

(四) 水质污染。成都市由于工业发展、人口增加和人民生活水平的提高,工业及生活废水、污水排放量增大。目前成都市日排放工业废水与生活污水 60~80 万吨,大部分未经处理排入府河、南河、沙河,造成大面积水质污染,影响了人民生活与身体健康。

(五) 岷江上游森林超伐,来沙增加,流域内蓄水、保水能力差。

(六) 在灌区工程上,由于灌区扩大,综合用水大量增加,原渠首枢纽

不能满足增加供水、合理配水、分洪、排沙等要求,部分干渠工程和主要输水分水建筑物过水能力不足,工程简陋老化,配套不齐,干支渠衬砌少,加以丘陵区屯蓄水工程较小,影响效益发挥。

根据四川省国民经济发展要求,经预测规划,2030 年全灌区工农业总需水量将比现状增加 85.35 亿立方米,达到 144.98 亿立方米。其中工业生活将增加 37 亿立方米,增长 3.4 倍;农业增加 37 亿立方米,增长 62%,灌面达 1400 万亩;新增成都市环保用水 6.3 亿立方米,平原区综合用水 5 亿立方米。电站增加装机 113 万千瓦,紫坪铺水库还将提供防洪库容 2.87 亿立方米。漂木将得到妥善解决。为水产、旅游、航运提供宽广的水域。

二 规划内容

(一) 任务与原则。规划以水资源为全社会服务的方向,开发以灌溉为主,结合城市供水、发电、防洪、漂木、渔业、旅游等综合利用,把都江堰建设成为一个规模巨大、功能完善、技术先进,综合利用的水利系统工程。在水源布局上发挥岷江上游水源丰富的优势,建设骨干调蓄水库,调洪补枯,同时合理开发利用平原地下水和山区、丘陵区的当地径流,多水源协同完成供水任务。在工程实施上,立足当前,抓好现有工程的扩建、

改造和配套；再重点搞好水源建设和灌区干渠的整治和改造。

(二) 灌区范围, 水源布局。灌区范围: 在多次规划比较的基础上, 总体规划拟定 1086 万亩、1400 万亩、1600 万亩 3 个规划方案进行论证, 经水量平衡计算与综合分析研究, 认为以现设计灌面 1086 万亩, 加上毗河引水 314 万亩, 达到 1400 万亩的灌区规模, 是合理的。水源布局规划以岷江水源为主, 同时利用平原区地下水和山区、丘陵区的当地径流。其中, 岷江上游, 在 2000 年前规划有紫坪铺水库, 岷江可提供水量 119 亿立方米, 占岷江来水 76.8%, 占全区总供水量 82%; 到 2030 年, 沙坝水库建成后, 岷江可提供水量 127 亿立方米。平原地下水, 2000~2030 年开采地下水 14~20 亿立方米, 占可开采量 61.7%, 占全灌区总供水量 12.6%。丘陵山区, 2000 年前规划建绵远河清平等水库; 2030 年, 西河建李家岩水库, 郫江建三坝水库或在凯江建通江水库。提供水量 7.7 亿立方米, 占全区总供水量 5.4%。毗河引水灌区, 2000 年—2030 年规划有简阳的踏水, 乐至的金顺、宝石水库。

三 综合利用

(一) 灌溉规划。复建闸坝结合的鱼嘴枢纽; 扩建、整治人民渠和东风渠枢纽与渠道; 改造石堤堰枢纽; 兴建徐堰河枢纽; 完善东风渠五、六期

与人民渠六、七期配套以及兴建毗河引水工程。

(二) 工业生活用水。全灌区工业生活用水, 规划由现状的 11.13 亿立方米增加到 2000~2030 年的 28.22~48.1 亿立方米。

(三) 发电规划。全灌区共增加装机 113.09 万千瓦, 其中: 岷江上游紫坪铺电站、鱼嘴枢纽电站共 73 万千瓦; 沙坝水库电站 72 万千瓦; 平原渠系电站 112 处, 装机 35.18 万千瓦; 丘陵山区水库电站有三坝、李家岩、虹口、清平, 装机 5.26 万千瓦。

(四) 防洪规划。分期分批地在干支流上游兴建水库, 拦蓄洪水; 在中下游采取疏导为主, 修建堤防, 整治河道。在平原区采取洪水分流措施, 同时加强植树造林和水土保持工作。

(五) 环保用水与水源保护。加快岷江上游水源保护区的建设和污染区的及时处理, 加快排污处理的组织建设和法规制度建设。同时结合水源建设, 规划在 2000~2030 年为成都市在 1~5 月提供环保用水 3.93~6.3 亿立方米的水量, 以改善府河、南河、沙河的污染状况。

(六) 漂木。在紫坪铺水库建成后, 采取库内收漂, 公路、铁路联运的办法解决。

(七) 旅游。灌区及附近地区的历史文物古迹和风景名胜较多, 待紫坪铺水库、鱼嘴枢纽建成后, 将形成两

个面积大、内容多，效益高的水上旅游基地。

四 投资效益

(一) 投资估算。只计扩建、配套和新建工程，2000年为34亿元，2030年共为47.5亿元。

(二) 效益分析。经济效益：按静态分析2000年多年平均净效益8.4亿元，还本年限为4.2年。2030年多年平均净效益12亿元。按动态分析，2000年多年平均净效益为5.79亿元，效益费用比2.42，大于1，内部回收率为17.7%，大于银行贷款利率1倍以上，投资回收年限为5.8年。社会、环境效益：改善与解决1400万亩灌溉用水，为年增产粮食10亿公斤，经济作物0.86亿公斤提供水源。缓解灌区内用电紧张状况，共增装机113.09万千瓦，年电量55.85亿千瓦时，可为创工业产值158亿元提供电源。较好地解决灌区工业生活用水，提供工业用水量21.7亿立方米，为年创工业产值396亿元提供水源。由于紫坪铺水库有2.87亿立方米的调洪库容，可将金马河百年一遇的洪峰流量大为减少，为保护金马河两岸耕地120万亩，130万人，厂矿企业243个，还耕2.8万亩，以及减轻成都平原、成都市、新津、金堂县等地区的洪水威胁创造条件，并为成都市年提供6.3亿立方米的环保用水，为旅游、漂木、渔业等提供宽广的水域条件。

五 实施意见

分清轻重缓急，突出重点，对水源建设，工业、生活、环保用水，灌区干渠与主要分水枢纽扩建和改造，工程的布点安排如下（2000年为初步建成）：

(一) 水源建设，把紫坪铺水库、鱼嘴枢纽建成；平原地下水开采水量达14亿立方米，占2030年目标的70%；金塔、清平水库力争建成。

(二) 渠系扩、改建。初步完成平原区的主要输水、供水和分水工程及部分丘陵扩灌区的输水、围水工程。

(三) 综合利用。完成各部门综合要求占2030年的59~70%，即灌溉为76%，工业生活用水为59%，发电为64%，环保用水为62%，以及初步解决金马河两岸的洪灾等。

(四) 管理。加快管理现代化的步伐，使管理水平有较大的提高。2030年除沙坝水库外，其余规划的水源工程与灌区基本建成，做到水量比较充分，水质比较好；把平原与丘陵区的供、输、用系统基本建成，做到供水及时，调动灵活，相互补剂，分配合理。使各部门关系基本协调，水资源综合功能基本发挥，综合利用要求基本解决。做到技术先进，管理科学，统一管理，综合管理。

六 问题与建议

(一) 都江堰总规划是根据历次规划资料和在现有工作的基础上编制

的，随着前期工作的不断深入和国民经济的发展，还会提出新的问题和要求，故在今后实施过程中，还需不断地补充、完善。

(二) 实施总体规划，需用投资较大，2000年以前为34亿元，2030年为47.5亿元，应落实资金筹积措施。

岷江上游是都江堰灌区和成都市的主要水源区，它的社会生态环境情况直接关系到以成都为中心的经济区的发展。因此，岷江上游国土开发整治应将治理、保护、综合利用水资源列为重要战略目标，以发挥岷江上游水资源的最大效益。

1990年11月20日，水利部以水规(1990)61号文对都江堰总体规划报告进行了批复，主要内容是：同意都江堰灌区近期设计灌溉面积为1086万亩，远期加毗河灌区初定灌区总规模为1400万亩。原则同意都江堰灌区的划分和干渠布置的总体布局。同意都江堰灌区设计引水流量为600立方米每秒，其中，宝瓶口为480立方米每秒，外江灌区为120立方米每秒，人民渠分水闸为135立方米每秒，东风渠进水闸为80立方米每秒，并以此作为灌区扩建、改建和配套的依据。

