

水闸设计

(下 册)

华东水利学院 编

上海科学技术出版社

水 闸 设 计

(下 册)

华东水利学院 编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书主要阐述水闸设计的基本理论、国内外建闸中一些先进经验以及科研成果,并分别对水闸各主要部分的设计计算方法作了比较详细的介绍。

本书为下册,承上册之后也分十章,主要介绍了反拱底板式水闸;管柱桩式水闸;其他一些闸型;两岸的连接;岸翼墙设计;水闸的抗震;工作桥;公路桥钢筋混凝土闸门;钢闸门与零部件设计。

本书可作高等学校和中等专业学校有关专业的参考书,也可供从事水闸设计的技术人员参考。

水 闸 设 计

(下 册)

华东水利学院 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22.5 字数 541,000

1985 年 9 月第 1 版 1985 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1—4,400

统一书号: 15119·2359 定价: 3.70 元

目 录

第十一章 反拱底板	259
第一节 概述	259
第二节 反拱底板的结构形式	261
第三节 反拱底板的消能条件	262
第四节 反拱底板应力分析	264
第十二章 管柱桩闸	292
第一节 概述	292
第二节 闸身结构	298
第三节 闸身结构应力分析	305
第四节 管柱桩应力分析	312
第五节 计算示例	327
第十三章 其他一些闸型设计特点	333
第一节 装配式水闸	333
第二节 自动翻倒闸门	335
第三节 浮体闸	341
第四节 橡胶坝	347
第十四章 水闸与两岸连接及岸翼墙设计	358
第一节 水闸岸翼墙的整体布置	358
第二节 岸翼墙的结构型式、荷载及稳定验算	361
第三节 重力式岸翼墙	370
第四节 悬臂式挡土墙	372
第五节 扶壁式挡土墙	372
第六节 连拱空箱式挡土墙	374
第十五章 水闸抗震	381
第一节 概述	381
第二节 震害	382
第三节 水闸工程抗震措施	383
第四节 抗震计算	385
第十六章 钢闸门	399
第一节 闸门的类型	399
第二节 钢闸门的荷载、材料及其容许应力	401
第三节 平面钢闸门的结构型式和布置	406
第四节 钢面板计算与梁系设计	412

第五节 联结系和支承边梁设计	423
第六节 弧形闸门的总体布置和外力分析	427
第七节 弧形闸门的结构选型和布置	431
第八节 弧形闸门主框架的计算和构造	432
第九节 启闭机的型式与布置	436
第十七章 闸门的零部件设计	442
第一节 平面闸门的支承移动部件	442
第二节 平面闸门的启门力计算	459
第三节 弧形闸门的支承铰	461
第四节 吊耳、吊杆和锁锭	468
第五节 闸门的止水装置	473
第六节 平面闸门的埋设部件	477
第七节 焊接和螺栓连接	480
第十八章 钢筋混凝土及钢丝网水泥闸门	485
第一节 概述	485
第二节 梁板式平板闸门	486
第三节 钢丝网水泥波形面板闸门	492
第四节 双曲扁壳闸门	505
第十九章 钢筋混凝土工作桥	516
第一节 概述	516
第二节 工作桥各部位设计	523
第三节 排架	526
第四节 设计示例	532
第二十章 闸上公路桥	549
第一节 概述	549
第二节 公路桥设计荷载	554
第三节 实腹等截面圆弧拱桥	560
第四节 装配式钢筋混凝土板桥	570
第五节 装配式钢筋混凝土T形梁桥	581
第六节 闸上公路桥的下部结构及细部构造	584
附录	592

反拱底板

第一节 概 述

在平原地区建闸,由于地基多为软基,承载能力较低,沉降量较大,建筑物抗滑稳定性较差,故往往采用筏式基础,即通常所谓平底板结构形式。这种结构形式的底板面积较大,单位面积上地基反力较小,地基承载能力易于满足。除此建筑物各部分间沉降差也较小,因之在实际工程中使用最为广泛,但是这种结构形式钢筋用量较多,三材耗费量大,造价较高。针对平底板结构存在的缺点,在江苏广泛的采用了反拱底板结构型式,利用拱内应力主要是轴向压应力这一特点,使闸底板厚度减薄,底板内钢筋用量减少,甚至于在闸底板内基本上不配置钢筋,与筏式闸底板相比大大节约了钢筋与水泥的用量。例如每一孔净跨6.0米的节制闸,如采用筏式闸底板,底板厚约为1.2~1.5米,所需的钢筋约为4~5吨。而采用反拱式底板,拱厚仅为0.6米,所需钢筋只有0.8吨。近年来,江苏及山东部分地区在软土地基上采用了反拱底板取得了丰富的经验,目前不仅水闸而且船闸、抽水机站及涵洞建筑物也都广泛的采用了反拱式底板,已建成的典型实例可参见表11-1。

反拱底板结构形式虽然有以上的优点,但是它也存在着一系列问题,如:

1. 地基不均匀沉降在拱内将产生较大的内力,按目前实际工程中所采用的计算方法(见应力分析),当拱两端产生几毫米不均匀沉降差,即足以将拱圈拉断。虽然这种计算方法存在着一定问题,但仍可以定性说明地基不均匀沉降,在拱内将产生较大的内力。

2. 反拱底板目前多修建于土质条件较好的地基上,如地基为粘土、粉质壤土等,其标准贯入击数一般应在8~10击以上。如地基为中砂与细砂类土壤,其标准贯入击数应在12~14击以上,在较差的地基上,如松散砂或淤泥质软土,目前采用反拱底板者较少,缺乏这方面的成功经验。虽有个别闸也曾采用过这种形式,但是根据运转情况看来,底板多已断裂。例如江苏高淳固城湖出口处,杨家湾节制闸地基很差,系淤泥质壤土,现底板已断裂。又如黄砂港,地基亦非很好,在-8.6~-18.4高程间为粘土夹粉砂, $N < 3$, $\alpha = 0.04$ 厘米²/公斤,虽然采用了加建引桥及尽量减少上下游乙墙后填土等工程措施,但闸身沉降还是比较明显的,拱桥的拱板断裂很多,裂缝也开展得很厉害,反拱底板虽未做检查,但从拱桥的断裂情况看来很难相信没有断裂现象。因此反拱底板目前可以认为只限于使用在中等偏密实性的地基。

3. 闸下消能较复杂。由于闸底板表面形态系圆弧形,因此泄流时,在闸孔中间部分形成单宽流量集中现象,对消能不利。

4. 反拱底板受温度变化影响较大,尤其是目前一般在底板内,除了在拱座处布置少量钢筋外,其他部位多不布置钢筋,因此暴露在大气中在气温骤变情况下,闸底板极易断裂,如安徽双桥节制闸,地基为重粉质壤土,21孔,每孔净宽8米,整个闸身没有分缝,拱厚0.4

表 11-1 我国近年来所建部分反拱底板水闸资料

水闸名称编号	地基土质情况	闸高(米)	闸孔宽度(米)	矢跨比	拱厚(米)	闸孔数	总长	分缝情况与施工方法	备 注
1	中砂贯入击数 $N=20\sim30$	10	6.0	1/8	0.6	4	26.1	闸墩与反拱同时浇筑, 不设缝墩	
2	粘土 $N=15\sim20$	8.5	13.0	1/10	1.0	1		先浇闸墩后浇反拱	
3	重粉质土壤 $N=8\sim10$	9.0	3孔 4.0 1孔 8.0	1/8	0.3 0.6	4	26.8	先浇闸墩后浇反拱	
4	重粉质土壤 $N=8\sim10$	6.5	6.0	1/10	0.45~0.55	6	40.2	3孔一联设缝墩, 先浇闸墩, 后浇反拱	
5	灰色粉砂 $N=10\sim20$	9.0	15孔 5.0 1孔 8.0	1/10	0.5	16	96.6	二次浇筑, 每4孔留一施工缝	
6	粉质粘土重粉质壤土互层 $N=13\sim17$	8.5	6.0	1/9	0.6~0.7	24	167	先浇闸墩, 后浇反拱	
7	粉质粘土 $N=20$	7.5	5.0	1/6	0.4	5	27.8	先浇闸墩, 后浇反拱	
8	粉质粘土 $N=11\sim13$	12.0	6.0	1/8	0.6~0.7	22	150.4	先浇闸墩, 后浇反拱	
9	灰色细砂重砂壤土 $N=14\sim34$	10.0	6.0	1/10	0.65	5	36.8	闸墩与反拱同时施工, 拱脚处预留回填缝	
10	青灰色粘土 $N>15$	4.5	3.4	1/6	0.3	8	33.6	2孔一联设缝墩, 墩基与反拱同时施工	
11	坚硬粉质壤土局部含铁锰 结核 $N=15\sim21$	11.5	6.0	1/9~1/11.5	0.5(跨中)	7	50.8	先浇闸墩, 后浇反拱	
12	粉砂土 $N=12$	6.0	8.0	1/8	0.5	1		反拱与岸墙底板整体浇筑	
13	粉质粘土 $N>15$	7.0	4.8	1/5	0.2	1		反拱与岸墙底板分期施工	
14	粉质粘土 $N>15$	7.0	4.8	1/7	0.3	1		反拱与岸墙分期施工	
15	重粉质壤土 $N=8\sim15$	8.6	6.0	1/9	0.7	134	1100	中联6孔一联、边联4孔一联、有缝墩	
16	重粉质壤土砂壤土中砂 $N=12\sim20$	8.3	6.0	1/8	0.7	84	600	4孔一联设缝墩, 反拱与墩基同时浇, 后浇闸墩	
17	粉质粘土 $N>20$	7.5	7.0	1/10	0.5	7		先浇墩, 后浇反拱	
18	重粉质壤土		8.0		0.4	21孔			施工时因骤然降温, 拱发生裂缝

米,工期历经二个冬天,施工时在一次气温骤降情况下,6号与15号闸孔底板断裂,缝宽最大达2~3毫米。

5. 一些计算方法不够成熟, 计算出成果与实际情况存在着一定差别, 尤其是不均匀沉降与温度影响。

第二节 反拱底板的结构形式

一、反拱底板的结构形式

反拱底板目前一般多采用等截面的圆拱, 有的工程在拱座处加厚, 采用变厚拱的形式。

确定反拱形态尺寸时,应结合地质条件进行选择合适的矢跨比 $\frac{f}{L}$ 值,通常反拱底板的矢跨比为 $(\frac{1}{7} \sim \frac{1}{10})$,在粉砂地基上不宜采用较大的矢

单位厘米

跨比, 不仅如此, 在施工时且应设法降低地下水位, 否则地基开挖后容易发生坍塌, 无法保持拱的结构形态, 施工放样困难。

反拱的厚度一般为跨度的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12}$, 不宜过厚, 拱厚越大对不均匀沉降与温度影响的敏感性越大; 但是也不宜过薄, 否则刚度与强度无法满足要求, 一般拱厚不宜小于 30~40 厘米。

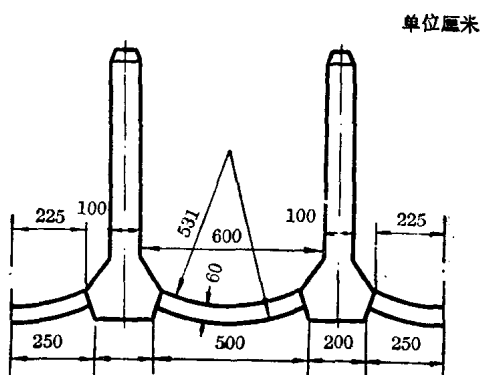


图 11-1 反拱底板

二、反拱底板与闸墩间连结

反拱底板与闸墩间联结目前多采用固结形态,墩与底板间施工缝按建筑缝进行处理,即浇筑反拱底板混凝土时应将闸墩连接面处混凝土打毛冲洗干净,除此两者间应布置有连接钢筋,钢筋尺寸一般多采用 $\Phi 16@30$ 或 $\Phi 8 \sim \Phi 12$ 每米 5 根。墩与底板间至今一般很少采用铰接形式,其主要原因是接缝处止水结构施工麻烦,以及存在着底板如何与闸墩共同承受水平水压力的问题。

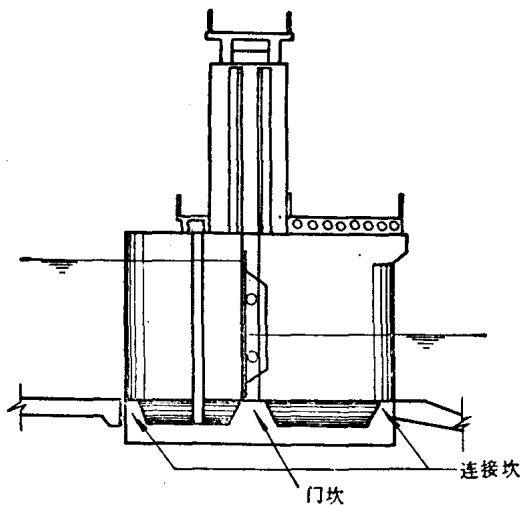


图 11-2 门坎与连接坎

三、门坎

为了便于闸门与闸底板的接合,多在闸门处设置门坎,其结构形态如图 11-2 所示。由于门坎的存在,会改变拱的受力情况,使拱变为拱梁,在门坎处形成应力集中和易发生裂缝,为使其裂缝不致于开展过大,在门坎处可配置钢筋,或者是将门坎与倒拱分开浇筑,在结构上采取一定措施不使其构成整体。

四、连接坎

图 11-2 门坎与连接坎

闸底板系弧形，为了便于与上下游护坦部分连接，在底板两端填平形成连接坎。连接坎除了起上述作用外，对于改善水流流态，消除单宽流量的集中有较好的成效。

五、闸身的分缝

目前沿闸轴线一般在地基条件较好情况下,多不分缝。江苏省太平、金湾多采用这一结构形式。金湾节制闸总共 22 孔,每孔净跨 6 米,闸室总净宽 132 米,建于粉质粘土地基上,

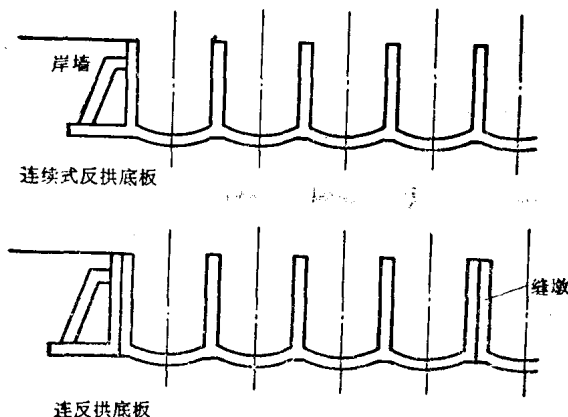


图 11-3 闸身的分缝

土层均一,凝聚力 4.8 吨/米^2 ,内摩擦角 19° ,标准贯入击数 $11 \sim 13$ 击,根据计算临塑荷载达 26.4 吨/米^2 ,地基条件很好。太平闸总共 24 孔,每孔净跨 6 米,闸身总长 167 米,地基为粉质粘土与粉质壤土互层,标准贯入击数 $13 \sim 17$ 击,凝聚力 5.5 吨/米^2 ,内摩擦角 19° ,建成后根据目前运转情况看来,尚未发现什么问题。但也必需指出二闸迄今尚未进行过闸室全面抽干检查。山东南四湖三闸系建于重粉质壤土、砂壤土、中砂和壤土的地基上,持力层凝聚力 3 吨/米^2 ,内摩擦角 13° ,标准贯入击数 $11 \sim 18$ 击。考虑到为了减少不均匀沉降与温度变化的影响,每隔 4 孔设置一缝墩,将闸身分成几个单元。这两种结构形式那一种较为合适,应视具体情况而定,一般当地基均一较好,且整个闸室无暴露于大气的情况下,闸身总长度较短,可以考虑采用不分缝的结构形式,否则应设置缝墩。

六、闸室与两岸的连接

反拱底板对不均匀沉降比较敏感,因此除了要求校核闸身与两岸连接处拱内应力及适当放置钢筋进行补强外,尚应尽量设法减少两者间沉降差。尤其是在地基条件较差的情况下,更应该注意这一问题。一般在与两岸连接处避免设置重力式结构和尽量设法减少回填土高度,如采用加建引桥等措施,以减少可能发生的不均匀沉降值。此外,在施工时多将反拱底板与岸墙连接处留以连接榫槽,待岸墙达到一定沉降稳定后,再浇二期混凝土,将反拱底板与岸墙连接起来。或者是先建岸墙和回填部分填土后,再浇边孔的反拱底板。

七、反拱底板与闸墩连接处的施工分期问题

为了尽量减少反拱底板上的受力多先浇筑闸墩,使达到一定高度后,以其基底反力不超过地基的允许应力为原则,然后停止施工一段时间,让地基获得一定的固结,再浇筑反拱底板,将底板与闸墩连接成一整体。这种施工方法就尽可能减少反拱底板上所承受的荷载和避免不均匀沉降的影响二方面而言,是有利的,但在施工上也带来一些不便之处,因此有些工程采用反拱底板与闸墩基础部分一同浇筑的施工方法。也有为了改善底板的受力,在反拱底板与闸墩间留以建筑榫槽,待建成后进行回填混凝土处理。

第三节 反拱底板的消能条件

反拱底板表面形态系圆弧形,因此当闸上下游水位差较大,闸门初启时,在闸孔中部形成了单宽流量集中现象,不仅如此,在闸门两侧由于闸墩与反拱底板连接处牛腿的阻水将水流挑起,然后落于反拱的中间,对消能带来不利的影响。例如江苏省太平闸,当运行条件为上游水位 $+5.5$ 米,下游水位为 $+2.0$ 米,闸门开启高度 1 米, Q 为 930 立方米/秒,根据计

算,如假定闸下水流均匀,没有流量集中现象,闸下应发生完全水跃。计算结果如下:

$$q = \frac{930}{24 \times 6} = 6.48 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$$

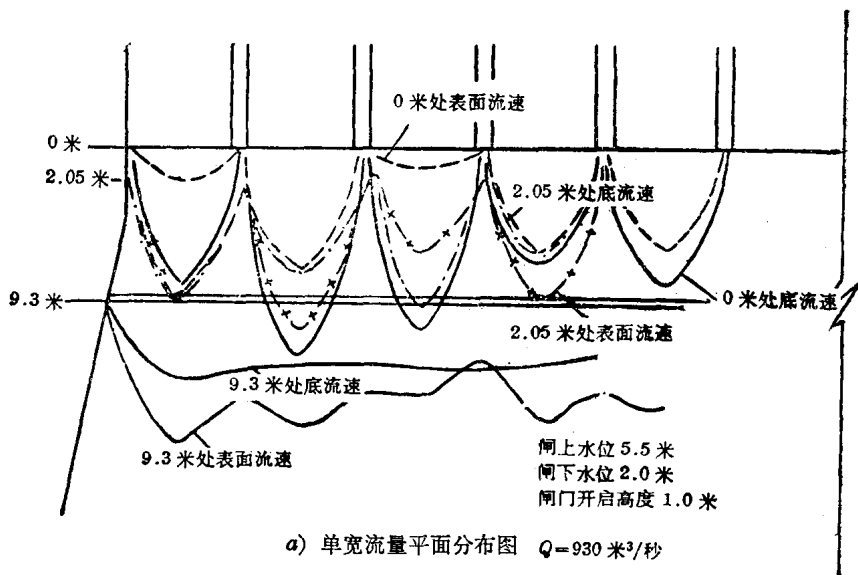
$$T_0 = 7.0 \text{ 米}$$

$$h_K = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 1.602 \text{ 米}$$

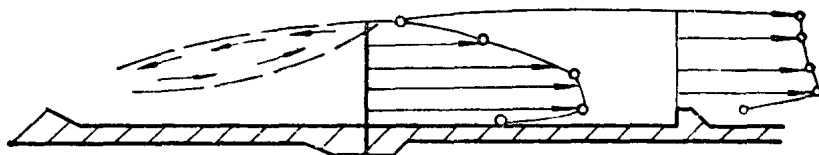
$$h_2 = 3.41 \text{ 米}$$

$$h_1 = 0.595 \text{ 米}$$

此时河道下游水深 3.5 米,稍大于所需的跃后水深,水跃处于临界状态。据我院实验结果表明,在闸门两侧水流受牛腿影响挑高达 1 米,水跃在闸门后 2 米范围内前后移动、时常拍击闸门,水流出闸室后流速分布异常不均匀,中间大两侧小,流速分布如图 11-4 所示。闸孔中心剖面处跃后单宽流量值远超过平均单宽流量。在出闸处,中间闸孔中心剖面处跃后单宽



中孔 $q = 16.35 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$



边孔 $q = 15.1 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$



b) 闸孔中心剖面处流速分布

图 11-4 太平闸闸下消能模型试验

流量达 $16.35 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$, 边孔闸孔中心剖面处跃后单宽流量达 $15.1 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$, 单宽流量集中系数为 2.5 倍。在尾槛处中间闸孔中心剖面单宽流量 $11.45 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$, 为平均单宽流量的 1.8 倍。

当下游水位增至 2.5 米时, 拱形过闸流量 $785 \text{ 米}^3/\text{秒}$, 水跃完全淹没, 淹没度根据计算为 1.24, 此时闸门前水流平静不出现水花, 流态尚稳定, 在尾槛处闸孔中心剖面单宽流量为 $6.9 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$, 为平均单宽流量 $5.48 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$ 的 1.26 倍, 水流还是有一定的集中现象, 如果在反拱底板末端设置有尾槛, 对水流的单宽流量分布具有调整作用, 其效果还是比较明显的, 水跃发生位置向前推移。例如闸上水位 5.5 米, 闸下水位 2.0 米, 闸门开启高度 1 米, 在尾槛处单宽流量 $7.36 \text{ 米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$, 为平均流量 1.14 倍。

根据以上所述, 显然可以看出采用反拱底板后, 如下游尾水较浅时, 对水跃的形成条件, 水流的稳定性都有一定影响, 当下游尾水深度加大, 水跃淹没后, 影响不再显著。如果在反拱底板末端设置拱形尾槛, 水流的集中现象可以大大减少。

第四节 反拱底板应力分析

反拱底板目前在工程上虽然已较多的采用, 实践上也已证明是一种较好的结构型式, 但是在设计方法上, 仍然存在着一系列问题, 值得进一步研讨。

反拱底板内力计算可分为两大类: 一将反拱视为弹性地基上的拱, 按平衡条件和位移协调条件联合求解地基反力和拱内应力; 二假定反拱底板上地基反力为均匀分布, 用材料力学法求解。第一种计算方法较精确, 但计算工作量很大, 特别是多孔连续反拱底板及边界条件较复杂的情况下, 很难求解, 而第二种计算方法较简单, 因此乐于为工程单位所采用。但是这种计算方法对于边孔部分与实际情况相差较大。

反拱的施工多先浇筑岸墙、闸墩和进行岸墙后的回填土方工程, 待地基的沉降达到一定数值后再进行浇筑反拱底板, 因之在采用以上两种计算方法中如何正确地反映施工条件是一个关键问题。材料力学法只能依靠以往设计与运行经验进行一些假定, 因此很难以如实反映出施工过程对反拱底板内应力的影响。

一、材料力学计算方法

(一)概述 经过几年原型观测和计算分析, 一般可认为反拱底板的地基反力在顺水流方向按直线分布, 可用偏心受压公式计算, 在垂直水流方向接近于均匀分布, 其荷载强度过去认为根据拱与墩的不同施工程序可做如下的假定。

1. 先浇反拱及墩基, 后浇闸墩, 在这种情况下, 作用在反拱上的地基反力可按均匀分布考虑(即墩与拱的地基反力相等), 地基反力的大小可按偏心受压公式计算。

2. 先浇部分闸墩, 使地基得到预压, 沉降达到一定数值后, 再浇反拱底板, 然后继续砌筑闸墩。在这种情况下拱的自重及拱上的荷载由拱自身承担, 闸墩先期浇筑部分的重量, 起初完全由闸墩基底承担, 随后由于地基反力的重分配, 反拱部分地基反力增加, 在设计中一般多假定闸墩的自重及后来增加的荷载由拱承担 50% 左右。显然, 这种假定带有较大的任意性。在太平闸修建中曾埋设了压力仪, 根据观测结果表明, 顺水流方向地基反力接近直线分布, 而在垂直水流方向, 太平闸观测资料开始时是底板中部地基反力大, 两侧小, 随着时间的增加, 地基反力接近均匀, 如 19# 闸孔观测资料:

放水前, $p(\text{拱冠处地基反力})/\bar{p}(\text{地基反力平均值})=1.38$; 放水后, 该值由 1.38 减至 1.22;

放水前, $p(\text{拱边缘处地基反力})/\bar{p}(\text{地基反力平均值})=0.75$; 放水后, 该值由 0.75 增至 0.87, 因此可以认为, 在中孔部分横向反力接近于均匀分布。

地基反力值在太平闸中间闸孔部分观测表明, 其最终值与施工程序关系不大, 如太平闸施工进度为:

自 71 年 12 月至 72 年 3 月, 砌好部分闸墩, 墩重 399.7 吨;

72 年 4 月 8 日浇好反拱底板;

72 年 4 月 8 日至 72 年 6 月 23 日继续浇砌闸墩上部结构, 此时闸墩上荷载增加至 539.5 吨;

72 年 6 月 29 日开始承受水压力;

底板内埋设的压力仪量测成果表明, 放水前反拱承担墩拱总荷载值自 24.4% 逐渐增加至 50.9%, 增加值竟超过了 4 月 8 日以后闸墩上荷载增加值, 亦即

$$539.5 \text{ 吨} - 399.7 \text{ 吨} = 139.8 \text{ 吨}。$$

放水后自 72 年 7 月 4 日至 9 月 27 日, 反拱底板上承受总荷载的比例从 44% 增加到 60%, 如果按面积平均分配, 拱上荷载应为总荷载 70%。从以上观测资料表明, 两者很接近, 因此可以认为, 在中间闸孔部分, 由于墩底面积较小, 基底压力过大, 虽然采用了先浇闸墩后浇反拱的施工方法, 但施工间隔时间不长, 而粘性土沉降历时较长, 且具有较大的塑性变形, 因此地基反力变化上表现出, 即使采用先浇闸墩后浇反拱底板的施工方法, 在施工完建时, 反拱底板上所承受的荷载值较小, 但随着时间的变化, 最终拱与墩上荷载分配仍然趋于均匀。至于边孔部分、砂性土地基以及墩拱施工间隔时间较长时, 以上的结论并不一定适用, 反拱底板上的反力值可采用弹性理论法求解。多孔节制闸中间闸孔部分由于其两侧邻近闸孔的受力和结构型式基本相同, 因此在地基均一的情况下, 可以将反拱底板单独取出一孔作为固端拱进行分析, 拱上荷载呈直线分布, 其强度等于总地基反力沿拱墩基底面积作均匀分布, 力的作用方向为安全计, 多假定为垂直方向。边孔部分或单孔节制闸因受边载影响较大, 故必须计入由于边荷所引起的不均匀沉降与拱座转角变位对反拱底板内力的影响, 显然要严格求解这一问题是相当困难的。在实际工程中, 为了计入不均匀沉降与拱座转角变位影响, 往往采用半经验法, 即在设计时根据一些工程设计经验假定两拱座间可能发生的不均匀沉降差和转角变位, 按固端拱进行应力计算, 然后进行内力叠加, 而不考虑拱座不均匀沉降、转角变位对地基反力分布改变的影响。根据一些工程实测不均匀沉降值与设计中所假定的不均匀沉降值, 可参见表 11-2。从表中显然可以看出, 不均匀沉降的实测值、设计值、实际施工中配筋量三者并不完全相同, 这种形成原因是由于计算方法不能反映实际情况, 按材料力学法计算, 即使发生很小的不均匀沉降值, 拱内亦将产生较大的拉应力, 配筋量很大, 往往难以施工, 故不得不减少配筋量。若计算方法改变, 采用文克尔假定, 或按弹性地基上的拱进行计算, 拱内最大应力比用材料力学法计算值小。

(二) 材料力学法解 拱内应力分析可按结构力学圆弧拱弹性中心法进行。

1. 圆弧拱的几何尺寸

$$\text{矢跨比}——D = \frac{f}{L};$$

表 11-2 各实际工程实测不均匀沉降与设计中所采用的数值表

闸 名	实测不均匀沉降(毫米)			设计中所采用的假定不均匀沉降值(毫米)			备 注
	边孔 1	边孔 2	边孔 3	边孔 1	边孔 2	边孔 3	
黄砂港闸	3	2	1	0.6	0.6	0.6	实际配筋数只相当于正常运转加不均匀沉降 0.6 毫米
太平 闸	1.57~3.69	2.34~2.87	0.96~2.56	3	3	3	实际配筋相当于不均匀沉降 1.5 毫米
金 湾 闸	1.55~2.96	1.42~3.22	1.22~1.95	5	3	1.5	实际配筋相当于不均匀沉降 3~1 毫米
宣陵北闸	1~2	2	0.5~0.3	3	2.5	1.5	按假定不均匀沉降配筋
武漳河闸	2~3	(2)	(1)	—	—	—	按正常运行下计算内力配筋, 括号内数值按实测推算得
淮安一站	(1~2.7)	(1~2.7)	(1~2.7)	3	3	3	括号内数值由实测推算得
大 钱 闸		0.5~2.9		5	2	2	按假定不均匀沉降值配筋
南四湖二闸	边联 (1~2.4)	中联 (1.2~1.4)		1	1	1	按正常运行计算内力配筋
南四湖三闸	边联 1.08~2.35	中联 1.28~2.3					

由于不均匀沉降所产生内力计算, 系按材料力学法进行。

d ——拱圈厚度;

b ——拱圈宽度, 取 $b=1.0$ 米计算;

F ——拱圈截面积,

$$\sin \phi_0 = \frac{4D}{4D^2 + 1} \quad (11-1)$$

$$\phi_0 = \sin^{-1} \frac{4D}{4D^2 + 1} \quad (11-2)$$

$$\text{拱的内半径}——R_0 = \frac{L_0/2}{\sin \phi_0} \quad (11-3)$$

$$\text{拱轴线半径}——R = R_0 + \frac{d}{2} \quad (11-4)$$

$$\text{计算跨度}——L = L_0 + d \sin \phi_0 \quad (11-5)$$

$$\text{计算矢高}——f = R - R \cos \phi_0 \quad (11-6)$$

$$\text{弹性中心至拱轴线的垂直距离 } y_0 = R - \frac{L}{2\phi_0} \quad (11-7)$$

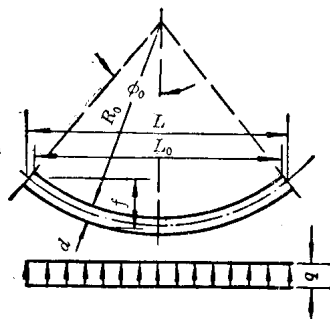


图 11-5 反拱计算简图

2. 当拱受均匀垂直反力作用时内力计算: 如上所述, 反拱底板在自重、水重、浮托力、渗流压力和地基反力等荷载所组成的均匀荷载 q 值作用下(假定 q 值作用方向垂直向上), 弹性中心处的内力计算公式如下。

$$\text{弯矩} \quad M_0 = B_1 q R^2 \quad (11-8)$$

$$\text{水平力} \quad H_0 = C_1 q R \quad (11-9)$$

$$\text{垂直力} \quad V_0 = 0 \quad (11-10)$$

$$\text{式中} \quad B_1 = \frac{1}{4\phi_0} (\phi_0 - \sin \phi_0 \cos \phi_0) \quad (11-11)$$

$$C_1 = \frac{d_4 - b_1 d_5}{b_1 d_1 + d_2} \quad (11-12)$$

$$d_1 = \phi_0 + \sin \phi_0 \cos \phi_0 \quad (11-13)$$

$$d_2 = d_1 - \frac{2 \sin^2 \phi_0}{\phi_0} \quad (11-14)$$

$$d_3 = \phi_0 - \sin \phi_0 \cos \phi_0 \quad (11-15)$$

$$d_4 = \frac{\sin \phi_0}{2 \phi_0} (\phi_0 - \sin \phi_0 \cos \phi_0) - \frac{1}{3} \sin^3 \phi_0 \quad (11-16)$$

$$d_5 = \frac{2}{3} \sin^3 \phi_0 \quad (11-17)$$

ϕ_0 拱中心角之半

$$b_1 = \frac{d^2}{12R^2} \quad (11-18)$$

拱顶截面 C 处的内力:

$$\text{弯矩} \quad M_C = M_0 - H_0 y_C \quad (11-19)$$

$$\text{水平力} \quad H_C = H_0 \quad (11-20)$$

$$\text{垂直力} \quad V_C = V_0 = 0 \quad (11-21)$$

拱脚截面 A 和 B 内力:

$$\text{弯矩} \quad M_A = M_B = M_0 + H_0 (f - y_C) - \frac{1}{8} q L^2 \quad (11-22)$$

$$\text{水平力} \quad N_A = N_B = H_0 \quad (11-23)$$

$$\text{垂直力} \quad Q_A = Q_B = \frac{1}{2} q L \quad (11-24)$$

$$\text{轴向力} \quad H_A = N_A \cos \phi_0 + Q_A \sin \phi_0 \quad (11-25)$$

$$\text{剪力} \quad V_A = Q_A \cos \phi_0 - N_A \sin \phi_0 \quad (11-26)$$

以上公式正负号规定: 使拱凹面受拉的弯矩为正(如图 11-6 所示), 向内水平力为正, 垂直反力以向下为正, 轴向力以受压为正, 受拉为负; 剪力以拱左截面背圆心为正; 匀布荷载以向上为正。

3. 当拱座发生垂直不均匀沉降时, 内力计算。

在边孔处拱座不均匀沉降值与可能发生的转角变位可根据一些类似的工程实测成果进行选定, 然后据此进行设计。

如拱座 A 、 B 两点分别发生垂直变位 ΔA_0 、 ΔB_0 , 整个拱由 AB 变位至 $A'B'$, 由于拱座不均匀沉降引起的内力只与两拱座的相对沉降 Δv 值有关, 对拱内应力的影响相当于在拱上

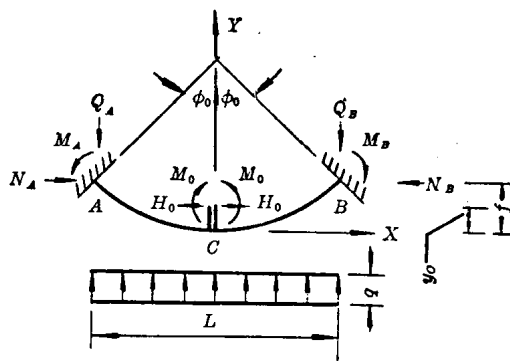


图 11-6 拱上承受均布荷载内力计算

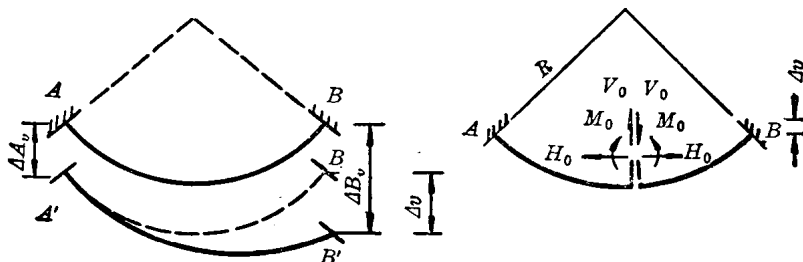


图 11-7 拱座发生垂直不均匀沉降内力计算

作用-反对称荷载。根据对称结构在反对称荷载作用下,其内力是反对称的原则,所以对称的内力等于零,即在弹性中心处 M_0 及 H_0 等于零,而只有 V_0 。

$$M_0 = 0 \quad (11-27)$$

$$V_0 = -\frac{\Delta_{20}}{\delta_{22}} \quad (11-28)$$

$$H_0 = 0 \quad (11-29)$$

其中 $\Delta_{20} = \Delta_v$, δ_{22} 可根据“工程力学”进行计算。当 $\frac{f}{L} < \frac{1}{5}$, $\frac{1}{10} > \frac{h_c}{L} > \frac{1}{30}$ 情况下,计算 δ_{22} 时可略去剪力项和轴力项。

$$\delta_{22} = \frac{R^3}{EI} (\phi_0 - \sin \phi_0 \cos \phi_0) = \frac{R^3 d_3}{EI} \quad (11-30)$$

拱顶内力

$$M_c = 0 \quad (11-31)$$

$$V_c = -V_0 = \frac{EI}{R^3 d_3} \Delta v \quad (11-32)$$

$$H_c = 0 \quad (11-33)$$

拱座处内力

$$M_A = -M_B = \frac{\Delta v}{\delta_{22}} R \sin \phi_0 \quad (11-34)$$

$$H_A = -H_B = \frac{\Delta v}{\delta_{22}} \sin \phi_0 \quad (11-35)$$

$$V_A = V_B = \frac{\Delta v}{\delta_{22}} \cos \phi_0 \quad (11-36)$$

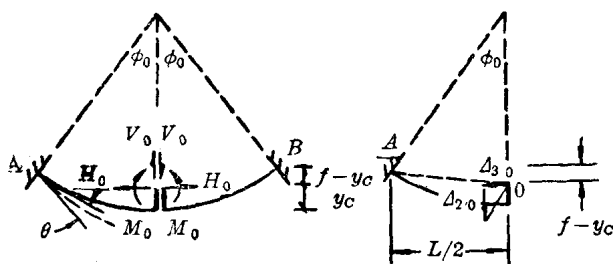


图 11-8 拱座转角变位引起的内力

4. 拱座转角变位引起的内力: 拱座 A 截面发生一顺钟向的微小转角 θ , 弹性中心处的典型方程为:

$$\begin{cases} M_0 \delta_{11} + \Delta_{10} = 0 \\ V_0 \delta_{22} + \Delta_{20} = 0 \\ H_0 \delta_{33} + \Delta_{30} = 0 \end{cases} \quad (11-37)$$

由于 θ 是很微小的, 根据几何关系可知:

$$\begin{cases} \Delta_{10} = \theta \\ \Delta_{20} = -\frac{L}{2} \theta = -\theta R \sin \phi_0 \\ \Delta_{30} = (f - y_c) \theta \end{cases} \quad (11-38)$$

上式中 Δ_{10} 、 Δ_{20} 、 Δ_{30} 的正负号, 凡位移与假设的单位力方向一致取正号, 相反取负号。根据工程力学计算得:

$$\begin{cases} \delta_{11} = \frac{2R\phi_0}{EI} \\ \delta_{22} = \frac{R^3 d_3}{EI} \\ \delta_{33} = \frac{R}{EI} \left(R^2 d_2 + \frac{d_1 I}{A} \right) \end{cases} \quad (11-39)$$

$$M_0 = -\frac{\theta}{\delta_{11}} \quad (11-40)$$

$$V_0 = \frac{\theta R \sin \phi_0}{\delta_{22}} \quad (11-41)$$

$$H_0 = \frac{-(f-y_0)\theta}{\delta_{33}} \quad (11-42)$$

拱顶内力:

$$M_c = -\frac{\theta}{\delta_{11}} + \frac{(f-y_0)\theta}{\delta_{33}} y_0 \quad (11-43)$$

$$H_c = \frac{(f-y_0)\theta}{\delta_{33}} \quad (11-44)$$

$$V_c = \frac{-\theta R \sin \phi_0}{\delta_{22}} \quad (11-45)$$

拱座截面内力:

$$M_A = -\frac{\theta}{\delta_{11}} - \frac{\theta R^2 \sin^2 \phi_0}{\delta_{22}} - \frac{\theta(f-y_0)^2}{\delta_{33}} \quad (11-46)$$

$$M_B = -\frac{\theta}{\delta_{11}} + \frac{\theta R^2 \sin^2 \phi_0}{\delta_{22}} - \frac{\theta(f-y_0)^2}{\delta_{33}} \quad (11-47)$$

$$H_A = -\frac{\theta R \sin^2 \phi_0}{\delta_{22}} + \frac{\theta(f-y_0) \cos \phi_0}{\delta_{33}} \quad (11-48)$$

$$V_A = -\frac{\theta R \sin \phi_0 \cos \phi_0}{\delta_{22}} - \frac{\theta(f-y_0) \sin \phi_0}{\delta_{33}} \quad (11-49)$$

$$V_B = -\frac{\theta R \sin \phi_0 \cos \phi_0}{\delta_{22}} + \frac{\theta(f-y_0) \sin \phi_0}{\delta_{33}} \quad (11-50)$$

以上计算式,只表示拱座一侧产生某一转角变位拱内所产生的内力。

二、弹性力学解简化法

材料力学计算方法用于中间闸孔部分还是比较合适的,至于两岸部分或孔数较少的节制闸显然无法反映出底板实际受力情况,以及两岸填土及施工步骤的影响,即在未浇反拱底板前地基反力的分布,和浇筑反拱底板后地基反力的变化。为解决这一问题,必须采用弹性理论进行求解,但是计算相当复杂,对实际运用带来一定的困难,必须使其简化才可能有实际意义。根据闸孔实际施工情况,一般多先浇筑岸墙与进行岸墙后土方的回填工程,在岸墙自重、土重、土压力作用下,地基内各点受到压载,发生沉降变形,这时挡土墙底部地基反力可以假定为直线分布进行求解。由于土壤的固结受到排水的限制,不可能很快达到最终沉降,故在浇筑反拱底板后,地基必将继续发生沉降,但此时岸墙的变位受到反拱底板的约束,使得地基反力发生重新分配。岸墙的变位一般都是下沉与向填土侧后倾,因此拱端处除下沉外尚发生一转角变位,整个建筑物变形与地基反力变化将如图 11-9 所示。考虑到岸墙与反拱底板的刚度和地基相比,均远远超过地基,因此地基反力分布可以假定在岸墙部分,反拱底板的拱冠与拱座间各呈直线分布,在拱座处为使计算简化,可以认为地基反力呈突然变化,亦即整个地基反力呈折线分布。

多孔节制闸边岸闸孔底板应力分析,与单孔节制闸底板应力分析稍有不同,现分述如下:

(一)单孔节制闸反拱底板应力分析 单孔节制闸反拱底板应力分析的计算原则与多孔节制闸边孔部分计算原则一致,但由于单孔节制闸两侧结构形式一样,且其所受到的荷载是对称的,反拱底板两端的转角变位与沉降值相等,故地基反力可假设成如图 11-9 所示。显

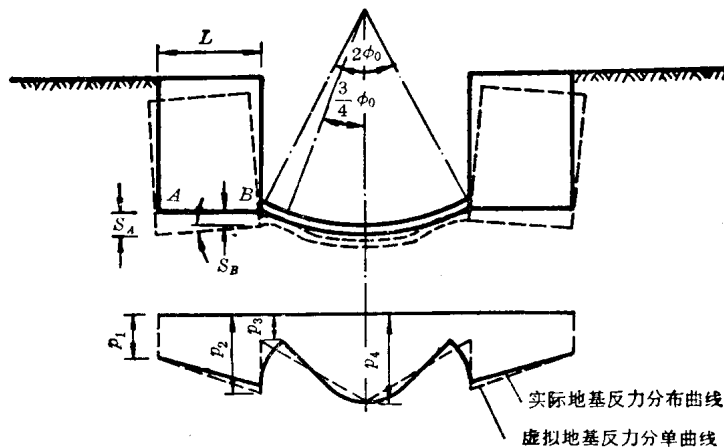


图 11-9 单孔节制闸地基反力分布

然要求解这一问题,只须列出四个方程式即可。根据岸墙的平衡条件,拱冠与拱端处的相对变位和地基沉降差一致的条件,写出三个方程式,第四个未知数 p_3 是由拱座转角引起拱轴线发生向凹面弯曲所造成,考虑到拱轴线变化在 $\frac{3}{4}\phi_0$ 左右处为最大,因此可以采用该处拱轴线变位与地基变形一致的条件,写出第四个方程式,进行联立求解。

从以上所述可以看出,整个计算过程与闸身施工程序有关,现为了进一步阐明反拱底板的计算,首先介绍闸墙与反拱底板同时进行浇筑时底板内的应力分析,然后在此基础上再介绍先浇岸墙后浇反拱底板的应力计算。

1. 岸墙基础与反拱底板同时浇筑时,底板内力计算步骤:

(1) 假使地基反力分布图形,如图 11-9 所示;

(2) 根据地基反力分布图形及回填土所产生的荷载,计算岸墙前后趾与反拱底板拱冠、 $\frac{3}{4}\phi_0$ 拱环处的地基沉降值,该值应是 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 的函数。

(3) 计算在 p_3 、 p_4 与拱座转角 $\left(\frac{S_A - S_B}{L}\right)$ 作用下拱座处的力矩、剪力与轴向力,显然这些数值也是 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 的函数。 p_3 、 p_4 的作用力方向可假设为径向,计算可采用表 11-3。

(4) 写出岸墙在所有外力作用下的平衡方程,可得到两个方程式。

(5) 根据拱上作用力 p_3 、 p_4 与拱座处发生的转角变位计算拱冠,与 $\frac{3}{4}\phi_0$ 拱圈处的变位值,显然该两值也是 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 的函数。同样 p_3 、 p_4 作用力方向认为是径向,计算可采用表 11-3。

(6) 将拱冠处的变位值和拱冠与拱座两点间沉降差建立变位一致条件,同样将 $\frac{3}{4}\phi_0$ 拱圈处的变位值和拱座处与 $\frac{3}{4}\phi_0$ 拱圈处的沉降差的径向投影建立变位一致条件。

联立求解以上方程式,即可求得地基反力分布图形,进而求解反拱底板的内力。

2. 先建岸墙及进行墙后填土,待地基达到一定沉降后,再浇反拱底板的应力计算:

(1) 根据岸墙上作用的外力,计算地基反力,假设岸墙下地基反力呈直线分布;

(2) 根据岸墙地基反力及墙身后填土计算地基各点沉降量;

(3) 计算在开始浇筑反拱底板时,地基已完成的沉降值;