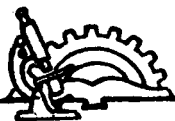


高等学校試用教科书



水 力 学

SHUILIXUE

上 册

唐山铁道学院水力学教研组编

范 治 綸 主 編

人 民 教 育 出 版 社

高等学校試用教科書



水 力 学

SHUILIXUE

下 册

唐山铁道学院水力学教研组編

范治綸主編

人 民 教 育 出 版 社

本书是唐山铁道学院水力学教研组编写的，于1961年1月由人民铁道出版社出版。同年4月间，经华东水利学院、武汉水利电力学院、天津大学、清华大学、大连工学院、成都工学院、华中工学院及南京工学院等校水力学教研组的有关教师略加修订后转交人民教育出版社分上、下两册再版。1962年2月，复经唐山铁道学院水力学教研组根据本书初版以来各院校使用情况，作了些必要的修订，仍分上、下两册出版。

本书除绪论外，分为十一章：静水力学，动水力学基础，液体流动的阻力和水头损失，液体在有压管中的均匀流动，孔口、管嘴和液体的射流，明渠中液体的均匀流动，渠道中液体稳定非均匀渐变流动，水跃和上下游水面衔接，堰流，地下水运动及离心式抽水机。各章都附有例题。

本书可作高等工业学校土建、地质、采矿等类专业“水力学”课程的教材，亦可供有关工程技术人员参考。

本书编写和修订工作的具体分工为：范治纶（第六、七、八、十章），荣深澍（绪论、第二、十一章），金学易（第三、五章），黄宽洲（第九章），曹景凤（第一章），任云、黄儒欽（第四章），并由范治纶负责主编。

水 力 学

上 册

唐山铁道学院水力学教研组编

范治纶主编

北京市书刊出版业营业登记证出字第2号

人民教育出版社出版（北京景山东街）

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号K15010·1026 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 8 $\frac{8}{16}$ 插页 1

字数 215,000 印数 11,501—13,500 定价（7）¥1.00

1961年7月第1版

1963年5月北京第5次印刷

本书是唐山铁道学院水力学教研组编写的，于 1961 年 1 月由人民铁道出版社出版。同年 4 月间，经华东水利学院、武汉水利电力学院、天津大学、清华大学、大连工学院、成都工学院、华中工学院及南京工学院等校水力学教研组的有关教师略加修订后，转交人民教育出版社，分上、下两册再版。1962 年 2 月，复经唐山铁道学院水力学教研组根据本书初版以来各院校使用情况，作了些必要的修订，仍分上、下两册出版。

本书除绪论外，分为十一章：静水力学，动水力学基础，液体流动的阻力和水头损失，液体在有压管中的均匀流动，孔口、管嘴和液体的射流，明渠中液体的均匀流动，渠道中液体稳定非均匀渐变流动，水跃和上下游水面衔接，堰流，地下水运动及离心式抽水机。各章都附有例题。

本书可作高等工业学校土建、地质、采矿等类专业“水力学”课程的教材，亦可供有关工程技术人员参考。

本书编写和修订工作的具体分工为：范治纶（第六、七、八、十章），荣深潜（绪论，第二、十一章），金学易（第三、五章），黄宽渊（第九章），曹景凤（第一章），任云、黄儒欽（第四章），并由范治纶负责主编。

水 力 学

下 册

唐山铁道学院水力学教研组编

范治纶主 编

北京市书刊出版业营业许可出字第 2 号

人民教育出版社出版（北京东大街）

人 民 教 育 出 版 社 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号 K15010·1021 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 10 $\frac{3}{4}$ 插页 2

字数 273,000 印数 8,301—10,300 定价 (7) 1.20

1961 年 7 月第 1 版 1963 年 5 月北京第 5 次印刷

再 版 序

本书自 1961 年 1 月問世以来，承各院校水力学教师在使用过程中，提出了許多宝贵的意見，我們对此表示感谢，也据此作了些必要的修訂(包括分大小字排印)，使本书质量有所提高。惟以再版時間比較紧促，体会讀者的原意容有未周，修訂工作做得还很不够，也不一定恰当，仍希讀者随时多多提出意見，供日后作大修訂时参考。

唐山铁道学院水力学教研組

1962 年 2 月 唐山

初 版 序

这本书是我組在 1952 年教学改革、学习苏联先进教育經驗和历年來教学实践的基础上，在党的社会主义建設总路綫和“教育为无产階級政治服务、教育与生产劳动相結合”的方针指导下写成的。在开始編写本书的时候，我們参照了 1955 年中华人民共和国高等教育部頒布的高等学校鉄道建筑、鉄道桥梁隧道和給排水等专业的水力学教学大綱，結合我們对教学与科学研究、生产劳动三結合的初步体会，自行拟定了鉄道建筑与鉄道桥梁隧道专业的水力学大綱，并根据这一大綱拟定了教材提綱，然后写出了本书的初稿。

1959 年 11 月，鉄道部文化教育局为制定有关全国鉄道学院 鉄道建筑与桥梁隧道等专业各專業課及基础技术課程教学大綱，在长沙召开了會議，在这次会上对我組所拟定之水力学教学大綱作了审查。根据长沙會議的意見，我院于同年 12 月成立了水力学教材审查小組，并邀請了部分鉄道学院及其他有关院校的教师参加，对我組所写的教材初稿，全面而系統地进行了审查，提出了某些带原則性的和許多具体的意見。我們参照了这些意見，进行了大量的修改和补充，就成为此书的定稿。

水力学是工程技术专业中的一門基础技术課，它除了要結合专业的要求之外，还需要照顾到它本身所具有的完整性和系統性。因此教材內容既要有相当廣闊和系統的理論基础，还要力求結合專業知識，使学者能初步具有解决有关水力学工程实际問題和初步开展这方面科学研究工作的能力，并了解当前水力学的发展方向。

基于这一認識，本书在內容的安排上，除緒論外分列十一章。第一至第六章屬普通水力学范畴，第七至第十章屬工程水力学范畴；第十一

章离心式抽水机为铁道给水这门课程取消后，在水力学教学大纲中新增加的内容。第一章的静水力学，第二章的动水力学原理和第三章的液体流动的阻力和水头损失是全书的理论基础，其他各章则属于一般性的应用（第四、五、六各章）和结合专业的应用及其理论基础（第七、八、九、十、十一各章）。

在各章节内容的具体安排上，我们力图贯彻理论联系实际的原则。那就是从具体现象或生产要求出发提出问题，从分析水力现象和运用实验方法着手来处理问题，并进行理论的概括，然后反过来指导实践，就是说，用来解决一般的或专业性质的问题。我们努力遵循这一原则写出了这本书，希望能有助于初学者的学习。

本书是在我院党委领导下由全体教师编写成的。具体业务是在范治纶教授的指导下进行的。全书编写大纲都经过集体讨论，然后在分别执笔、互提意见、慎重修改的基础上汇总完成的。它适用于高等学校铁道建筑、铁道桥梁隧道和给排水等专业。本书在某些章节上分量可能较重，因此可在教学大纲要求的范围内，适当精简。对于其他对水力学有着近似要求的各专业，在酌予相应增删的前提下，一般也还能适用。

由于我们业务水平和教学经验的限制，这本书无论是在教材的选取、安排或阐述等各方面，难免会有许多不妥之处，希读者多加指正。

最后，对参加本教材审查工作的我院邵福昨、黄寿恒、钱冬生等教授、北京铁道学院代表、湖南大学代表和正在我院进修的各兄弟铁道学院的教师，以及在本书初稿编写过程中提供了很多系统的、丰富的材料，使我们在编写第三、四章的水平有所提高的前我组教师闕译同志，均此致谢。

唐山铁道学院水力学教研组

1960年1月 唐山

上册目录

再版序.....	vi
----------	----

初版序	vii
-----------	-----

緒 論	1
-----------	---

一、引言	1
二、水力学发展简史	5
三、液体的水力学定义	15
四、作用在液体上的力	18

第一章 静水力学.....	27
---------------	----

§ 1-1. 静水压力及其特性	27
§ 1-2. 液体平衡的微分方程式及其积分	30
§ 1-3. 静水压力的等压面·自由表面	35
§ 1-4. 重力作用下静水力学的基本方程式	37
§ 1-5. 绝对压力·超压力·相对压力·真空	40
§ 1-6. 静水压力图示	41
§ 1-7. 连通器中液体的平衡	43
§ 1-8. 测管高度·静力高度	44
§ 1-9. 测管水头·静力水头	46
§ 1-10. 真空	47
§ 1-11. 运动器皿中液体的平衡	50
§ 1-12. 测量压力的仪器	57
§ 1-13. 作用在平面上的静水总压力和压力中心	63
§ 1-14. 矩形平面上的静水总压力	63
§ 1-15. 曲面上静水总压力的水平和垂直分力	69
§ 1-16. 阿基米德原理·潜体的平衡和稳定·浮体的平衡和稳定	75

第二章 动水力学基础	84
------------------	----

§ 2-1. 动水力学概述	84
---------------------	----

§ 2-2. 研究液体运动的二种方法	84
§ 2-3. 液体流束状运动的概念	87
§ 2-4. 微小流束的连续性方程式	92
§ 2-5. 理想液体运动的微分方程式(欧拉方程式)	93
§ 2-6. 不可压缩液体连续性的微分方程式	96
§ 2-7. 理想液体运动方程式的伯诺里积分	98
§ 2-8. 理想液体微小流束的(沿流綫)伯诺里方程式	100
§ 2-9. 理想液体微小流束伯诺里方程式的水力学意义和能量意义	105
§ 2-10. 实际液体微小流束的伯诺里方程式	107
§ 2-11. 液体的渐变流动	111
§ 2-12. 过水断面平均流速·动量改正系数和动能改正系数	115
§ 2-13. 实际液体总流的伯诺里方程式	119
§ 2-14. 实际液体总流的伯诺里方程式运用举例	124
§ 2-15. 稳定流动时实际液体总流的动量变化定律	128
§ 2-16. 实际液体总流的动量定律运用举例	130
第三章 液体流动的阻力和水头损失	133
§ 3-1. 液体流动的阻力和水头损失的两种型式——沿程水头损失和局部水头损失	133
§ 3-2. 液体流动的两种状态——层流和紊流	139
§ 3-3. 液体均匀流动的水头损失和基本方程式	147
§ 3-4. 液体流动在层流状态下的沿程水头损失	150
§ 3-5. 液体流动在紊流状态下的沿程水头损失	153
§ 3-6. 确定系数 λ 和 C 的公式	156
§ 3-7. 局部水头损失	163
§ 3-8. 液体流动的力学相似理论	170
§ 3-9. 因次分析理论—— π 定理	173
第四章 液体在有压管中的均匀流动	180
§ 4-1. 短管的水力计算	181
§ 4-2. 长管的水力计算	188
§ 4-3. 给水管网水力计算	195
§ 4-4. 有压管路中的水击	203
第五章 孔口、管嘴和液体的射流	218
§ 5-1. 液体经薄壁孔口的出流	218
§ 5-2. 液体经管嘴的出流	223
§ 5-3. 液体的射流	231
第六章 明渠中液体的均匀流动	234
§ 6-1. 概述	234

§ 6-2. 明渠均匀流的条件	234
§ 6-3. 明渠均匀流的计算公式	237
§ 6-4. 槽道断面形式	239
§ 6-5. 水力最佳的梯形过水断面	243
§ 6-6. 渠道水流的最大和最小允许流速	249
§ 6-7. 渠道水力计算问题的基本类型	252
§ 6-8. 无压涵管的水力计算	257
§ 6-9. 明渠均匀流水力学在天然河道中的应用	261

下 册 目 录

第七章 渠道中液体稳定非均匀渐变流动	235
§ 7-1. 渠道中的均匀流动与非均匀流动	265
§ 7-2. 渠道的种类	271
§ 7-3. 断面比能、临界水深	275
§ 7-4. 临界坡度	285
§ 7-5. 缓流、急流和临界流	288
§ 7-6. 渠道中液体稳定非均匀渐变流的基本微分方程式	290
§ 7-7. 渠道中液体稳定非均匀渐变流基本微分方程式的近似积分	295
§ 7-8. 棱柱形渠道中液体稳定非均匀渐变流的基本微分方程式	298
§ 7-9. 棱柱形渠道中液体稳定非均匀渐变流基本微分方程式的研究	301
§ 7-10. 棱柱形渠道中液体稳定非均匀渐变流水面曲线的分析及其实例	307
§ 7-11. 棱柱形渠道中液体稳定非均匀渐变流基本微分方程式的变形	325
§ 7-12. 棱柱形渠道中液体稳定非均匀渐变流微分方程式的积分概述	332
§ 7-13. 渠道断面的水力指数	335
§ 7-14. 棱柱形渠道中液体稳定非均匀渐变流微分方程式的积分	338
§ 7-15. 棱柱形渠道中的非均匀流问题及算例	344
§ 7-16. 天然河道中水面曲线之绘制	358
第八章 水跃和上下游水面衔接	377
§ 8-1. 水跃概述	377
§ 8-2. 水跃的种类	378
§ 8-3. 完整水跃的基本方程式	380
§ 8-4. 水跃函数、共轭水深及其图解	383
§ 8-5. 矩形渠道中的水跃	386
§ 8-6. 水跃的结构和能量损失	387
§ 8-7. 水跃长度	390
§ 8-8. 水跃的实验研究	393
§ 8-9. 波状水跃	395
§ 8-10. 水跃定位概述	396
§ 8-11. 上下游水面衔接的基本型式	397
§ 8-12. 底层流态下, 上下游水面衔接的基本关系式	406
§ 8-13. 渠道底坡突变处的水面衔接型式	411
§ 8-14. 水工建筑物下游消能概述	416

§ 8-15. 消力池水力计算	421
§ 8-16. 闸下泄流	427
§ 8-17. 跌水、快速渠道和悬槽概要	423
第九章 堰流	432
§ 9-1. 堰的定义及分类	433
§ 9-2. 薄壁堰	436
§ 9-3. 宽顶堰	445
§ 9-4. 宽顶堰理论在水工建筑物水力计算上的应用	457
§ 9-5. 实用断面堰	467
§ 9-6. 侧堰	471
§ 9-7. 堰流流量公式的总结	472
第十章 地下水运动	475
§ 10-1. 概述	475
§ 10-2. 渗透模型、渗透流速	477
§ 10-3. 渗透基本定律	480
§ 10-4. 地下水均匀流动	484
§ 10-5. 狄蒲(Дюпю)公式	485
§ 10-6. 地下水稳定非均匀渐变流的微分方程式、浸润曲线型式和积分	487
§ 10-7. 井和集水廊道	498
§ 10-8. 土壩(土堤)渗流	511
§ 10-9. 水工建筑物下的渗流	523
§ 10-10. 电拟法	530
第十一章 离心式抽水机	537
§ 11-1. 概述	537
§ 11-2. 叶片式抽水机的基本方程式	544
§ 11-3. 离心式抽水机叶片形状的选择	549
§ 11-4. 叶片式抽水机的性能实验、特性曲线与抽水机的选择	550
§ 11-5. 管路特性曲线与抽水机工作点的确定	556
§ 11-6. 叶片式抽水机的并联与串联	558
§ 11-7. 气蚀现象、抽水机的许可真空汲程与最大许可安装高度	561

附表

第七章 渠道中液体稳定 非均匀渐变流动

在前一章中所討論的“渠道中液体稳定均匀流动”，由于它的发生条件的限制，只能在人工水道即渠道中具备，所以它是渠道水力計算的基础。但是，在实际工程上，渠道中的水流，除非它具有足够的长度外，由于在其中所設置的水工建筑物，或上下游渠道水流变化的影响，經常使本来可以发生的均匀流段成为非均匀流段。因此，液体的稳定非均匀流动問題，不仅是在天然水道中絕大多數的一种流动类型，同时在人工渠道中，也大有它的实际重要性。

本章讲液体稳定非均匀渐变流动。因其是渐变，故在过水断面上的压力分布可引用靜水力学法則，使計算較能簡化。此外渐变流动，也是在非均匀流动中經常在实际上所见到的問題，例如决定水庫筑壩后的壅水曲綫，决定桥墩、桥台阻水抬高水位的影响范围等等。

通过本章的理論学习，可掌握渠道中各种水面曲綫的分析，和各种水工建筑物的一般水力計算，这些都是解决非均匀流动实际問題必备的知識。但是必須指出，本章理論是通过某种假設，建立在均匀流的理論上而导出的。熟悉掌握均匀流理論，特别是有关其摩擦損失的計算，是学好本章理論的前提。

§ 7-1. 渠道中的均匀流动与非均匀流动

在水流所占据的空間中，如果各个空間点上的运动要素（速度、加速度、压力等）均不随時間而变化的水流，称为稳定流（或称为恒定流，定常流，或定型流）。稳定流可分为均匀流和非均匀流。

均匀流的水力要素（如过水断面、水深及平均流速等），沿水流方向

不发生变化(图 7-1)。在管道中的均匀流,其能綫坡度 J_e 与测管坡度 J 彼此相等,但与管道坡度 i 不一定相等。在明渠中的均匀流,虽不似管道水流之受有约束,但既是均匀流,則其能綫坡度 J_e 必等于测管坡度 J (在明渠均匀流和非均匀渐变流中,测管坡度 J 即水面坡度),且均等于渠道坡度 i ,即

$$J_e = J = i.$$

也就是說,在均匀流中,能綫 $E-E$,水面綫 $P-P$ 与渠底綫三者相互平行(图 7-1)。

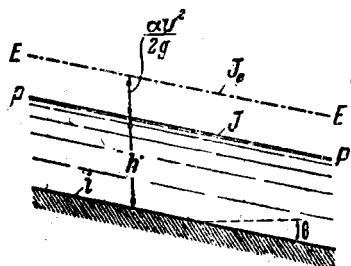


图 7-1. 明渠均匀流。

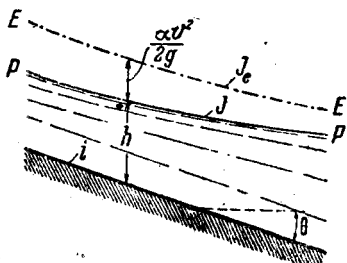


图 7-2. 明渠非均匀流。

对于非均匀流的水流,(1)或者过水断面沿流向变化;(2)或者过水断面不变,而在各个过水断面中各相应点之水流速度及加速度发生变化;(3)或者以上两者皆变(图 7-2)。在非均匀流中前述之三种坡度 J_e 、 J 和 i 显然互不相同,即

$$J_e \neq J \neq i.$$

也就是說,在非均匀流中,能綫 $E-E$,水面綫 $P-P$ 与渠底綫三者彼此互不平行。非均匀流問題的复杂性,由此已可见其一斑了。

稳定非均匀流,如能符合下列条件,則称为稳定非均匀渐变流:

- (1) 基本流綫之曲率甚微,因而可作为直綫看待;
- (2) 基本流綫之扩散角或收缩角甚小。

凡能符合上述条件之水流,即依次又具有下列性质:

(1) 过水断面可当作是平面,而且沿流向变化甚緩;

(2) 过水断面上的压力分布,遵照靜水力学法則。

因为在上述两条件下,可視速度和加速度之方向与过水断面正交,因此沿过水断面上的分速度与分加速度,和由此所引起的不大的慣性力,可以忽略不計。这样,过水断面上的压力分布就必须遵照靜水力学法則,从而得出:

(1) 任一过水断面中所有各点,对任一选取的水平基准面的势能均相等(图 7-3);

(2) 測管綫与水面綫重合(图 7-3)。

无压水道中的稳定均匀流系最简单的,同时也是很重要的一种水流类

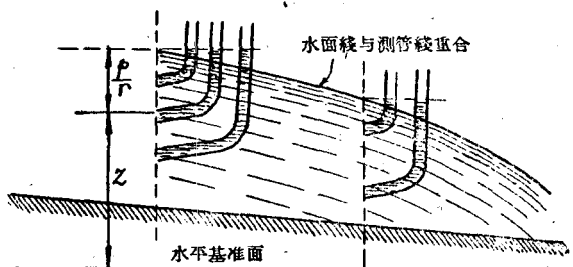


图 7-3. 非均匀渐变流。

型。如前在第六章所述,它只能在横断面到处相等(在形式上及尺寸上)、粗糙度一致、底坡一致的人工渠道(简称棱柱形渠道)中,在长度足够的条件下,才可以遇见。設若渠道长度不够,由于設置在其中的水工建筑物和上下游衔接影响,常使原来可以发生的均匀流段,受到扰动,而成为非均匀流段。这样,在渠道全长中,就沒有均匀流段了。

取棱柱形渠道(图 7-4, a, b)作为水工建筑物引起非均匀流之一例,相当于給定流量的正常水深 h_0 ,如图中虛綫所示。图 7-4, a 示水壩阻水,使上游水位抬高,引起壅水曲綫。所謂壅水曲綫,系指水深沿流向漸增的水面曲綫,或簡称 h^+ 曲綫。图 7-4, b 示跌坎落水,使上游水位降低,引起跌水曲綫。所謂跌水曲綫,系指水深沿流向漸減的水面曲綫,或簡称 h^- 曲綫。显然,無論是壅水曲綫,抑或跌水曲綫,两者均已改变其原有虛綫所示之均匀流段,而成为非均匀流段。如图所示,此类

影响,向上游延长甚远,但愈远则影响亦随之减轻,也就是说,壅水曲线或跌水曲线的水位,与原有均匀流动的水位相差愈少,理论上在上游无穷远处重合。实际上,在两水位相差减达 $\frac{1}{100}$ 或 $\frac{1}{1000}h_0$ 时,即可认为重合。如渠道够长,再往上游,就可重见原有的均匀流段了。

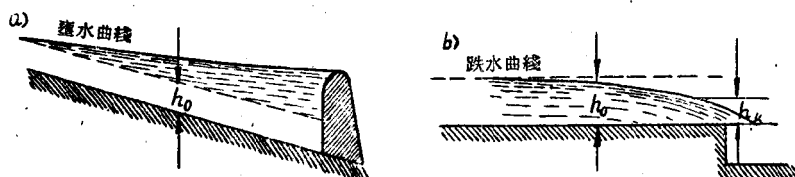


图 7-4. 水工建筑物所引起之非均匀流。

仍取棱柱形渠道(图 7-5)作为水工建筑物引起非均匀流之另一例,图中虚线示相当于给定流量的正常水深 h_0 。今设在渠道中建桥,桥墩使过水断面遭受束狭。为了能使原有的给定流量通过遭受束狭的过水断面,必须增加其平均流速,而此就须适当抬高桥上游之水位,因即减低其流速。这样,桥上游得减速流,此后转入加速流,最后又得减速流。如上述,由于桥墩的阻水,在桥上游所引起的非均匀流(此处为减速流)段向上游延伸甚远。

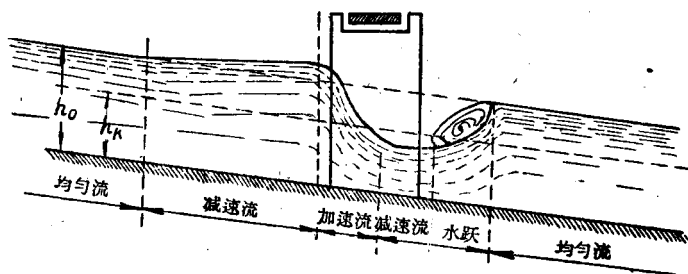


图 7-5. 桥墩阻水。

兴建在给水、灌溉、排水各种渠道中之人工建筑物,例如底宽变化之槽道(图 7-6)、平坡及逆坡槽道等,常伴有过渡段。在其中,从物理观点来看,不可能发生均匀流。

至于天然水道,在底坡、粗糙、断面等方面的变化上,极不规则。严格言之,在其中显然不可能有均匀流段。但是在个别河段上,上述各方面的变化可能并不甚大,在这样的河段上,也可近似地引用均匀流法则计算。

均匀流态的特征为其水力要素不沿流向发生变化。自力学观点来看,要求作用在水流上的一切外力(包括摩擦力在内),达成平衡。因此,在均匀流中,动能保持一定。按功能定律主动力做功的总和等于动能的增加,今在均匀流任一给定的位移中,动能既不生变化,可知主动力做功之总和等于零。或者是说,其他外力做功之总和等于克服摩擦阻力所作之功。上述种种,极易从伯诺里方程式中,得到说明:

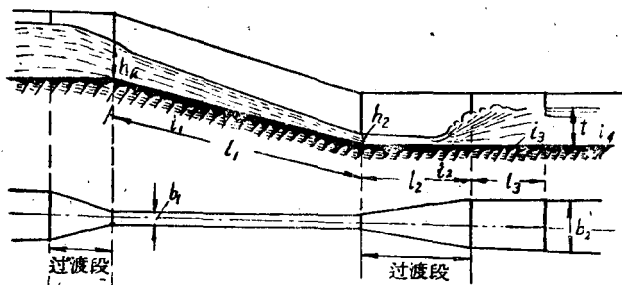


图 7-6. 连接渠道的过渡段。

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f,$$

移项得:

$$(z_1 - z_2) + \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} \right) + (-h_f) = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}. \quad (7-1)$$

在均匀流中,等号右边等于零,等号左边表示重力、压力和摩擦力做功之总和,也等于零。

若再将上式改写作

$$(z_1 - z_2) + \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} \right) = h_f,$$

则可说明,在均匀流态中,其他外力做功之总和等于克服摩擦阻力所作之功。

在非均匀流中,或系平均流速,或系过水断面中之流速分布沿流向发生变化,这是由于作用在水流上的一切外力(包括摩擦力在内),未能达成平衡的结果。若