

取水输水建筑物丛书

主编 陈德亮

Drops and Steep Slopes

跌水与陡坡

刘韩生 花立峰 纪志强 卢泰山 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

取 水 输 水 建 筑 物 丛 书

主 编 陈 德 亮

Drops and Steep Slopes

跌水与陡坡

刘韩生 花立峰 纪志强 卢泰山 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

跌水和陡坡是供水、排水、退水、排洪、排污等水工程的重要组成部分。本书从取水与输水的实际工程应用出发,结合工程实例和计算实例,系统地介绍了跌水、陡坡的体型、布置、水力计算、水力设计及有关注意事项方面的内容。

本书主要供水利水电、公路、铁路、矿山、城市、环境、水土保持及地质灾害防治工程的有关技术人员参考,同时也可用作水利院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

跌水与陡坡/刘韩生等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2004

(取水输水建筑物丛书/陈德亮主编)

ISBN 7-5084-1779-8

I. 跌... II. 刘... III. ①跌水—基本知识②陡槽—基本知识 IV. TV672

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 102499 号

书 名	取水输水建筑物丛书 跌水与陡坡
作 者	刘韩生 花立峰 纪志强 卢泰山 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 9 印张 242 千字
版 次	2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—3100 册
定 价	26.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

我国是一个人均水资源紧缺的国家，加之水资源在时间和空间上分布不均，导致水资源供需矛盾更加尖锐。缺水已成为我国经济和社会进步的重要制约因素。努力实现水资源的优化配置，满足经济社会对水资源的需求，以水资源的可持续利用来支撑经济社会的可持续发展，这是建设水利事业的根本目标和基本任务。

1949年新中国成立以来，我国的用水状况发生了很大变化。新中国成立初期，当时水利建设的主要任务是发展农业，解决粮食问题。1949年全国总供用水量仅1000余亿立方米，而当时农业用水就占全部用水量的90%以上，城镇工业用水比重很低。随着经济及社会的发展，特别是改革开放20年来，由于城市化进程的加快，这种用水状况有了很大变化。到1997年，全国总用水量已达5566亿 m^3 ，其中农业用水占70.4%，而城市生活和工业用水已占到总用水量的30%。这一趋势是改革开放以来经济社会发展的必然结果。从今后的发展看，农业虽是用水大户，但农业用水的重点是解决节水灌溉，提高用水效率的问题。据专家分析，如果将农业用水的平均有效利用系数从目前的0.43提高到0.55~0.60，则在不增加农业用水的情况下，完全能保证2030年人口达16亿时的粮食安全。如果再加上农业结构的调整等其他因素，农业用水总量将基本不会有大的改变。中国未来的供水矛盾将集中在城市，供水将主要用于发展城市、发展工业及保护生态环境。例如，南水北调工程的供水原则就是以城市供水为主，兼顾生态及农业。

实现水资源的优化配置有各种手段，而工程手段就是其中之一。无论是资源性缺水还是工程性（经济性）缺水，其最主要的工程手段都是在水源处修建取水工程，然后通过输水工程送到用水处。有时，为了把丰水地区的水资源调到缺水地区，还需要实施跨流域的远距离调水，对水资源进行地域上的再配置。在 21 世纪，跨流域调水将是中国水利建设的一大特点。国内外实践经验表明，采用调水工程这一工程手段来改善水资源的不利状况，是促进缺水地区经济发展的重要举措。大的调水工程往往还成为国家发展战略的重要组成部分。我国南水北调工程就是改善国家资源配置、支持经济社会发展的基础性战略工程。此外，为了提高用水效率，实施节约用水，合理计价收费，还需采取量水技术设施这一工程手段。针对上述形势发展的需要，我们特组织有关专家编写了这套《取水输水建筑物丛书》，以更好地为水资源的优化配置服务。

《取水输水建筑物丛书》（以下简称《丛书》）共十一个分册，分别为：介绍从天然水源或人工水源取水的《取水工程》、《泵站》（含输水渠道上的多级提水泵站）、《水闸》（含输水渠道上的节制闸、分水闸、退水闸等）及与之配套的《闸门与启闭设备》；为节约用水、科学用水、计价收费而设置的《量水技术与设施》；以及在输水渠道跨越天然或人工障碍时，在渠道上修建的一系列建筑物《渡槽》、《倒虹吸管》、《隧洞》、《涵洞》、《桥梁与基础》及《跌水与陡坡》等。以南水北调中线工程为例，该工程总干渠全长 1200 多公里，途经三省两市，横跨长江、黄河、淮河、海河四大流域，穿越大小河流 219 条，需修建各类取水及输水建筑物 960 多座，仅大型倒虹吸管就有 95 座，渡槽有 49 座；还有大量的涵洞、节制闸、分水闸、退水闸及与之配套的闸门和启闭设备；还有大批桥梁工程；总干渠上的排水建筑物即达 400 多座。如果加上输水分干渠、支渠上的建筑物，其数量十分可观。此外，在各级输水渠道上还有大量的量水技术设施。以上这些，均是我们这套《丛书》的服务范围。

本《丛书》的服务宗旨是：为水资源优化配置，为提高用水效率，为实现水资源的可持续利用服务。

本《丛书》的编写遵循以下基本原则：

1. 《丛书》的服务对象以大学本科毕业的水利工程技术人员为主；讨论的工程规模以中型为主，兼顾大型（个别分册例外，如《跌水与陡坡》主要以中小型为主）；写法以“实用”为主。在扼要阐明基本原理的基础上，着重介绍工程的布置、结构形式、构造、计算公式的应用，并介绍一些工程实例，便于广大读者在设计中应用和参考。

2. 《丛书》在重点介绍目前常用的理论方法的同时，注意反映国内外的先进技术，用前瞻眼光预计未来经济社会可持续发展的重大决策走向；注意总结经过实践证明，技术上先进、经济上合理、运用安全可靠的先进经验。使《丛书》既具有现实指导性，又有前瞻性。

3. 为了反映计算机应用技术的发展，《丛书》在有关部分介绍计算机辅助设计或计算的有关内容，但不附源程序。

4. 《丛书》不介绍一般性的施工技术内容，但某些与设计关系密切的施工问题，有特色的施工内容或特殊的施工问题，对读者确有参考价值的，要适当编入。

5. 《丛书》面向全国，尽可能注意照顾地区特点。特别是寒冷地区的冻害及多沙地区的泥沙问题，在建筑物的布置、形式、构造及计算方面加以兼顾。

这套《丛书》在编写过程中得到了各方面的大力支持和真诚帮助，在此一并表示衷心感谢。对书中的缺点、疏漏和不妥，恳请读者批评指正。

陈德亮

2002年8月

前 言

我国水工程建设方兴未艾，为了适应国家经济建设的需要，中国水利水电出版社出版了“取水输水建筑物丛书”，本书为其中的一个分册。

跌水和陡坡是常用的明渠落差建筑物，已被广泛应用于水利水电、公路、铁路、矿山、城市、环境、水土保持及地质灾害防治等工程中，是供水、排水、退水、排洪、排污等水工程的重要组成部分。为此，我们编写这本《跌水与陡坡》，从取水与输水的实际工程应用出发，结合工程实例，系统地介绍了跌水、陡坡的体型、布置、水力计算及水力设计方面的内容。为了便于读者掌握和运用，本书还列举了一些设计计算实例。

本书第一章概要介绍了跌水、陡坡的基本情况，使读者有整体的认识；第二章给出了进口体型确定方法；第三章论述了陡坡体型的水力设计与计算方法；第四章解决消能防冲问题，着重阐述了跌水、陡坡消力池的水力设计方法；第五章是斜管式跌水方面的内容，重点介绍了各部分体型及水力计算的方法；第六章总结实际工程经验，指出容易发生的问题及解决思路，并给出了设计布置原则。

西北水利科学研究所长期进行跌水、陡坡研究，经过几代人的不懈努力，研究出了一批科研成果，这是集体智慧的结晶。西北水利科学研究所曾在 20 世纪 80 年代组织人员编写了“灌区水工建筑物丛书”之一——《跌水与陡坡》（李崇智、乔海全、苟兴智、张志恒、韩立编著，水利出版社，1982 年 4 月第一版，

水利电力出版社，1988年10月第二版），受到有关技术人员的欢迎，发行量超过2万册。本书基本沿用了原书的体系，采用了原书的一些内容及图表，在此，本书作者向原书的五位作者表示衷心的感谢。这五位专家为西北水利科学研究所的跌水与陡坡的研究成果作出了重要贡献，也为新书的编写奠定了基础。另外，本书也引用了《小型水利水电工程设计图集·跌水与陡坡分册》（水利电力部西北水利科学研究所编制，水利出版社，1985年5月第一版）的少量内容，在此向其作者表示感谢。

本书由西北水利科学研究所的四位同志编写，刘韩生为本书的主编。刘韩生编写了第一、二、六章；花立峰编写了第四章；纪志强编写了第五章；卢泰山编写了第三章。初稿完成后由刘韩生统稿并定稿；由花立峰和纪志强同志校稿，并打印成册，最后交给“取水输水建筑物丛书”主编陈德亮教授审定。陈德亮教授自始至终关注、指导本书的编写，为本书的出版倾注了很多心血，在此，本书作者向他表示衷心的感谢。另外，西北水利科学研究所梁宗祥副所长在人员组织协调、工作安排方面给予了大力支持，并对书稿内容提出了许多宝贵意见，终使本书得以顺利完成。在此，也一并向他表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中必有欠妥之处，恳盼读者批评指正，更欢迎同行讨论切磋，以期共同来提高我国跌水与陡坡的技术水平。

刘韩生

2003年12月

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 跌水与陡坡的应用领域	1
第二节 跌水与陡坡的作用	2
第三节 跌水与陡坡的用途	2
第四节 跌水与陡坡的类型	9
第五节 基本资料	14
第二章 进口段的布置与计算	17
第一节 进口段的布置形式	17
第二节 缺口控制段的水力计算	24
第三节 闸门控制段的水力计算	37
第四节 退水与泄洪道进口的水力计算	40
第五节 进口段的体型设计	43
第三章 陡坡段的水力计算	61
第一节 陡坡段的水力特性及纵横断面	61
第二节 陡坡段的平面布置	64
第三节 陡坡段的水力计算	71
第四节 陡坡段上急流折冲波的克服方法	84
第五节 陡坡的人工加糙	97
第四章 跌水与陡坡的下游衔接消能	124
第一节 跌水消力池的体型	124
第二节 陡坡消力池的设计	142
第三节 跌水与陡坡的特种消力池	166

第四节	陡坡急流分水的消力池·····	190
第五节	消力池出口段的设计·····	194
第五章	斜管式跌水与竖井跌水·····	196
第一节	斜管式跌水的设计与布置·····	196
第二节	斜管式跌水的泄流能力计算·····	200
第三节	斜管式跌水的管身压力计算·····	204
第四节	斜管式跌水的出口消能·····	206
第五节	USBR 管道式跌水·····	210
第六节	斜管式跌水的算例·····	227
第七节	竖井跌水的简介·····	230
第六章	跌水与陡坡工程存在的主要问题和设计	
布置原则 ·····		234
第一节	存在的主要问题·····	234
第二节	下游冲刷的原因和消能工的特点·····	237
第三节	工程的规划布置·····	244
第四节	水工设计的要点·····	251
参考文献及参考资料 ·····		272

第一章 概 述

跌水与陡坡是明渠工程中最常见的落差建筑物。在我国广大丘陵塬坡地区的渠道工程中，陡坡、跌水和跌井等落差建筑物采用得较为普遍，一般占渠道工程总量的比重也较大，如陕西省的渭惠渠、泾惠渠、泾惠渠，甘肃省的黄羊河、昌马河灌溉干支渠，河南省的引黄济卫干渠、白沙水库灌溉干支渠、湖南省的韶山灌区，海南省的松涛灌区等大中型灌溉渠道上，都曾修建大量的各种形式的跌水、陡坡，作为渠道的落差建筑物。陕西省洛惠渠干支渠上就曾修建了这类落差建筑物 696 座。安徽省淠史杭灌区的肥西县，6.5 万亩灌区的孙集支渠上，就有跌水陡坡 300 余座，占该渠系水工建筑物总量的 50% 以上。

西北水利科学研究所（以下简称西北水科所）对跌水与陡坡进行了长期、广泛的研究。本书在这些研究成果及工程经验的基础上，从工程应用角度出发，对跌水、陡坡、斜管式跌水等三种主要渠系落差建筑物的工程布置、结构形式和设计计算方法作了较为系统的介绍，并就所收集到的资料作了综合论述；结合我国水利工程的发展现状、实践经验及有关科技成果，介绍了落差建筑物的原理、结构形式及在设计中应注意的事项。

第一节 跌水与陡坡的应用领域

我国幅员辽阔，丘陵塬坡地区众多，在这些地区建设或改造灌溉、排水、退水、排洪、城市供水、排污等水工程，为了适应地形，需要修建陡坡、跌水或跌井作为落差建筑物。与一般明渠或压力管道比较，这种建筑物技术要求高，往往是工程的关键部位或关键技术问题。从工程运行情况看，跌水、陡坡是最容易损

坏的建筑物之一，是渠系工程必须高度重视的问题。

第二节 跌水与陡坡的作用

渠道的纵坡通常是根据天然地形、附近建筑物及冲淤平衡条件选定的，一般坡度不是很大。但当渠道通过地面坡度过陡的地带时，要保持渠道的设计纵坡，就会出现高填方或深挖方的渠段，从而扩大渠道的占地面积，增加土石方开挖工程量，增大不

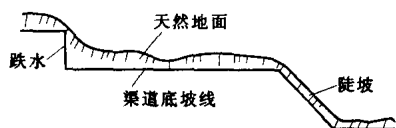


图 1-1 天然陡坎的落差建筑物

安全因素，并且将造成向两侧配水的困难。为了避免这种现象，最常见的工程措施，就是根据渠道的设计纵坡和实际地形状况将渠道分段，将渠底高程的落差适当集中，

并在落差集中处修建跌水或陡坡，作为渠道落差连接建筑物。当原地面有天然陡坎时，更需要修建跌水或陡坡将上、下渠道连接起来（图1-1）。

第三节 跌水与陡坡的用途

一、用于地形的需要

图 1-2 所示为陕西渭惠渠干渠十号跌水完工图，跌水上、下游地势平缓，陡坡处原地面陡峻，稍作开挖，即可修建跌水。

为使上游渠道流速小于渠道抗冲流速，在跌水上游修建了三个梯形缺口，缺口水流与宽尾墩水舌性质相同，三股水流冲击下游尾水，紊动剧烈，形成多种轴向的旋涡，提高了消能率，减小了消力池长度。经过数十年的应用，渠道不冲、不淤，消力池完好。

1990 年，利用该跌水的落差，修建了一座小型水电站，装机容量 200kW，为了有效控制水头及流量，跌水上部又建造了

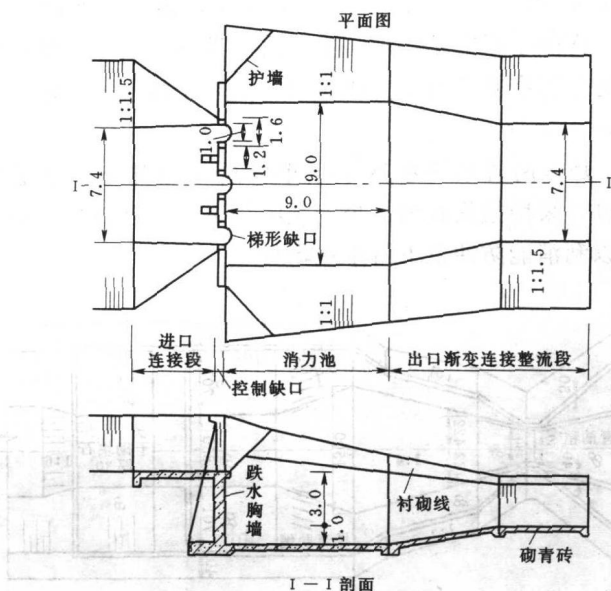


图 1-2 陕西省渭惠渠干渠十号跌水完工图 (单位: m)
渠道流量 $Q=30\text{m}^3/\text{s}$, 水深 $H=2.2\text{m}$



图 1-3 陕西省渭惠渠干渠十号跌水现状照片

三个混凝土平板闸门（见图 1-3）。1999 年，由于渠系两边道路大幅拓宽，拆除了水电站。近几年，由于种种原因，该渠灌溉功能下降，每年都有几个月作为排污渠，这几年的运行表明，其排污性能良好。

图 1-4 是海南省松涛灌区东干渠跃进一号陡坡，沿地形修建，陡坡进口采用扭面收缩，控制上游渠道水深及流速，陡坡沿程扩散，以利消能防冲及下游水流衔接。

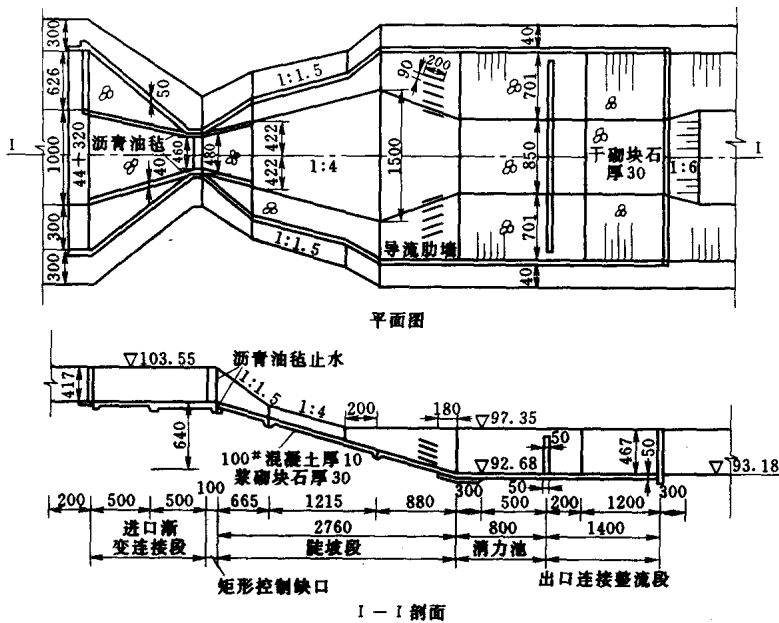


图 1-4 海南省松涛灌区东干渠跃进一号陡坡（单位：cm，高程：m）
 渠道流量 $Q=42.1\text{m}^3/\text{s}$ ，跌差 $P=6.4\text{m}$

二、作为引水和进水建筑物

为了充分利用河川径流，在灌区内利用天然地形修建中小型“结瓜水库”，或利用渠道跨沟填方，形成“渠库结合”蓄水，以补充灌区的不足，这是我国各地灌区常采用的蓄水工程措施之一。

在灌溉空隙时期，将河道径流由渠道输引，蓄存于沿渠道两侧的中小型水库或池塘，以备缺水季节供水或作为灌区部分高地提灌用水。这样的水库、池塘水位变化较大，而且其最高水位一般低于渠道底高程。把渠道水输引进到这些水库、池塘的引水工程，多采用陡坡的形式。这些陡坡的进口，一般设有控制进水闸门。闸和库、塘间均用陡坡衔接，陡坡末端直伸到库、塘底部，其陡槽布置与消能工形式，与渠道陡坡有所不同，图 1-5 所示为一典型工程实例。

在干支渠分水枢纽处，如干渠底高程较支渠底高程高时，分水闸与支渠间也常用陡坡相连（图 1-6）。

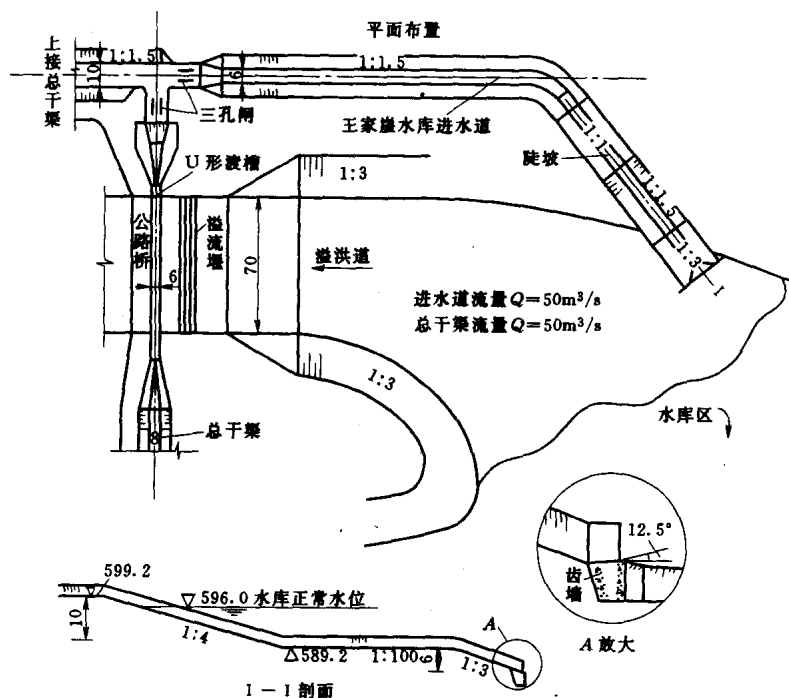


图 1-5 陕西宝鸡峡引渭工程王家崖水库
进水道工程布置（单位：m）

进水流量 $Q=50\text{m}^3/\text{s}$ ，总干渠流量 $Q=50\text{m}^3/\text{s}$

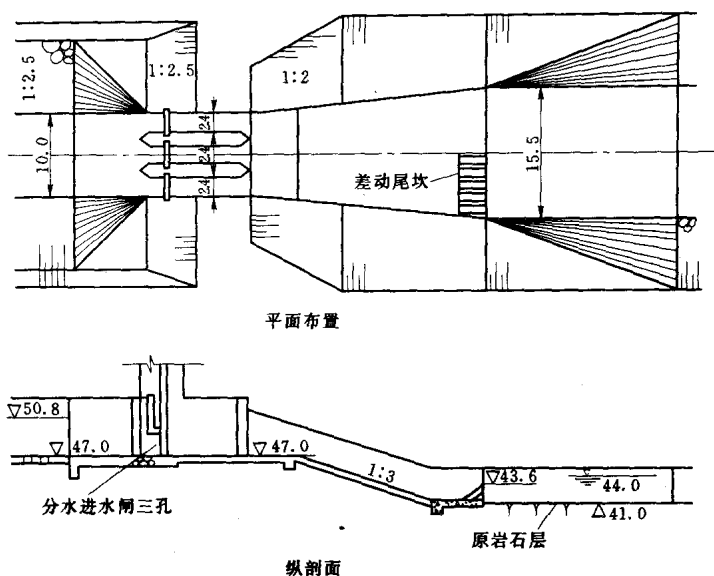


图 1-6 安徽淠史杭灌区淠东进水闸陡坡 (单位: m)

淠东干渠流量 $Q=60\text{m}^3/\text{s}$

三、作为退水、分水和泄洪建筑物

在沿山丘或塬边修建的灌溉或供水渠道上, 为了保证安全行水, 调节干支渠引水流量, 便于检查维修养护; 为了防止渠首控制失灵或汛期出现事故, 造成大量河水进入渠道; 为了防止渠道发生意外滑塌或沉陷决口, 以及其他运行管理上的事故, 造成不应有的灾害损失。一般在渠道一定长度的渠段泄退水方便的地方, 或渡槽、倒虹、大填方渠段等重要工程的上游处, 均应设置安全退水或调节分水建筑物^[1]。这类退水、分水建筑物的闸下布置形式, 常是陡坡、跌水或跌井。为了适应地形特点, 有时还布置成多级跌水, 或陡坡、跌水和跌井联合布置的形式。这类建筑物的末端有时还用悬臂式跌水、鼻坎挑流等方式, 将水流挑入下游河道或沟壑。

对有通航或抽水要求的渠道, 为了管理运行方便, 在船闸、泵站一侧, 也常设置小落差的退水陡坡。

四、作为水电站的退水和泄水建筑物

渠道落差建筑物处，集中了水流的势能，利用这种水能进行小型水力发电，是综合利用水资源的重要途径之一。在我国各地渠道上的这类小型水电站的设计布置中，均设有退水、泄水工程，以调节、平稳上游水位，排泄电站停机时的渠道水流。这类退水、泄水建筑物，一般多采用明渠陡坡或斜管式跌水（图 1-7）。

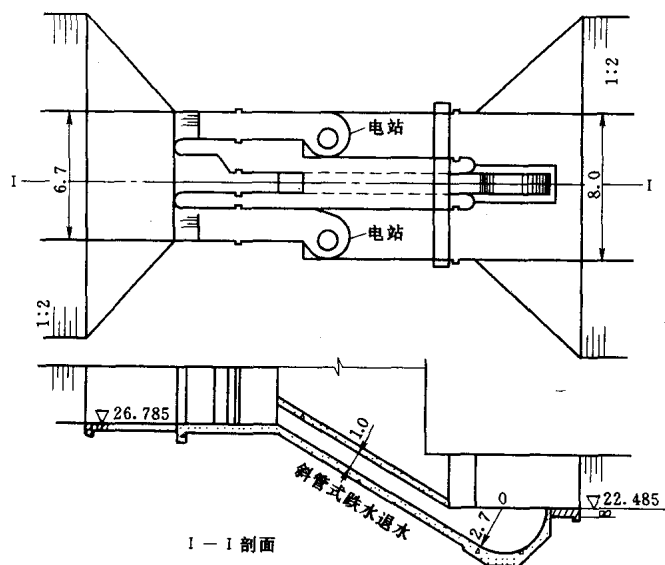


图 1-7 广东青年运河西海河安甫水电站布置（单位：m）

渠道流量 $Q=12\text{m}^3/\text{s}$ ，两台机组共 130kW，水头 $p=1.3\text{m}$

五、用于露天煤矿排水工程

在山区露天煤矿地面排水工程中，跌水与陡坡至关重要，关系到整个煤矿的安全。现以小龙潭南洞沟排水工程^[2]为例进行说明。南洞沟位于小龙潭矿务局布沼坝露天矿西南方约 3km，是龙桥排土场防洪沟的出口。该防洪沟汇流面积 12.26km^2 ，设计洪水流量 $32.54\text{m}^3/\text{s}$ 。南洞沟陡坡段长 89.5m，落差 49.2m，平均纵坡达 55.28%，高速水流将陡坡冲出一深 4m，半径约 15m