



长江设计文库

国家大坝安全工程技术研究中心支撑项目

堆石坝加固

杨启贵 谭界雄 卢建华 周和清 等 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn



长江设计文库

国家大坝安全工程技术研究中心支撑项目

堆石坝加固

杨启贵 谭界雄 卢建华 周和清 田波 刘锐 王秘学 田金章 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书是一部系统介绍病险堆石坝病害检测与除险加固新技术、新方法的最新专著。

本书共6章,第1章为概论,介绍了我国堆石坝建设、检测和加固技术现状及堆石坝主要病害特点等;第2章为堆石坝质量和缺陷检测,介绍了堆石坝渗漏、堆石体密实度、混凝土面板脱空、混凝土防渗墙质量缺陷等检测方法和粗粒料取样与钻孔可视化技术;第3章为混凝土面板堆石坝加固,介绍了混凝土面板堆石坝的病害特点、加固措施,对防渗面板加固与脱空处理、垫层料加密处理、水下防渗加固、堆石体变形控制等进行了重点介绍;第4章为沥青混凝土心墙堆石坝加固,介绍了沥青混凝土心墙堆石坝的病害特点和加固措施,主要介绍了混凝土防渗墙、控制灌浆技术对沥青混凝土心墙坝进行防渗加固;第5章为土质心墙堆石坝加固,结合我国病险土石坝的除险加固,介绍了混凝土防渗墙、高喷灌浆以及土质防渗体裂缝处理技术;第6章为爆破堆石坝加固,根据我国爆破堆石坝发展及加固处理现状,结合典型工程实例,主要介绍了坝体加固、复合土工膜及混凝土防渗墙防渗加固在爆破堆石坝中的技术应用。

本书可供从事水利水电工程设计、施工、科研的专业人员及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

堆石坝加固 / 杨启贵等编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-5170-6089-5

I. ①堆… II. ①杨… III. ①堆石坝—加固 IV. ①TV641.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第300272号

书 名	堆石坝加固 DUISHIBA JIAGU
作 者	杨启贵 谭界雄 卢建华 周和清 田波 刘锐 王秘学 田金章 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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
刷 印	北京市密东印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18.25印张 433千字
版 次	2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	90.00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

堆石坝是一种快速发展的坝型。早期的堆石坝主要采用码砌或自高处向下抛填，再辅以压力水冲实的方法施工，抛填的堆石坝密实度较低，建成后有较大的沉降变形，易造成防渗体破坏而引起大坝漏水。20世纪60年代以后，随着重型振动碾等机械设备的使用，坝体密实性大大提高；同时，工程师们对堆石坝进行合理分区，溢洪道、输水洞等建筑物的开挖料得到充分利用，堆石坝投资省、施工速度快等优势得到充分发挥，堆石坝在世界范围内得到了快速发展，坝高不断刷新，大坝数量快速增加，成为坝工三大主力坝型之一。

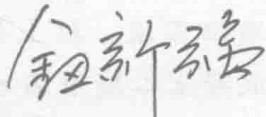
堆石坝是一类坝型丰富、防渗结构受力复杂的大坝。现代堆石坝已有黏土心墙堆石坝、黏土斜墙堆石坝、混凝土心墙堆石坝、混凝土面板堆石坝、沥青混凝土心墙堆石坝、沥青混凝土面板堆石坝等多种坝型。与混凝土坝相比，堆石坝坝体材料高度非同质、变形多维度，以及防渗结构型式多样是其显著特点。坝体各分区粒径、级配、密实度各不相同，物理力学性状差异明显，坝体变形呈现多维度；堆石体在高围压和长期荷载作用下具有的流变特性，使面板等防渗结构面临复杂的受力环境，面板堆石坝的防渗面板呈现双向拉压、剪切、挠曲和扭曲等复杂受力状态；沥青心墙堆石坝和土质心墙堆石坝等坝内防渗型式的防渗体，与粗粒料堆石的变形性能差异明显，两者间的变形协调是筑坝成败的关键技术；对于高坝，堆石体和防渗体与两岸岸坡还存在变形协调的问题。

堆石坝是一种以经验设计为主的坝型，筑坝技术的发展正如人们逐步认识事物规律一样，认识过程包含了成功与挫折乃至失败。20世纪60—70年代，我国修建了一批非现代意义的堆石坝，限于当时的技术水平，部分水库蓄水运行后险情严重，多次加固才根除险情。自20世纪80年代我国开始修建现代堆石坝，目前已是世界上堆石坝数量最多的国家，已建堆石坝运行状态总体较好，但也有一些堆石坝出现严重渗漏和变形，诸如面板堆石坝面板裂缝及止水破损，渗漏量突增；一些新建沥青心墙堆石坝与黏土心墙堆石坝初次蓄水就发生较大渗漏，影响水库效益与大坝安全。研究病险水库安全诊断与除险加固技术，具有与研究筑坝新技术同等的重要性，而且面临更为复杂的对象和难度。

长江勘测规划设计研究院成功设计了当今世界上最高的面板堆石坝——水布垭大坝、早期我国最高的沥青混凝土心墙堆石坝——茅坪溪防护坝，在堆石坝设计方面积累了丰富的经验；负责组建的国家大坝安全工程技术研究中心，将病险水库安全诊断与加固技术列为三大研究方向之一，并成功治理了以湖南株树桥为代表的一大批病险水库，在土石坝深水渗漏检测、加固材料研发和水下加固施工等方面形成了系列成套技术，为水库大坝的安澜作出了贡献。

本书作者们长期致力于堆石坝的设计及水库大坝病险诊断与加固，具有丰富的工程实践经验，他们将实践中积累的混凝土面板堆石坝、沥青混凝土心墙堆石坝、土质心墙堆石坝及爆破堆石坝的安全诊断和除险加固技术进行了系统梳理与总结，形成本书，相信将对我国大坝加固技术的发展起到支持作用。为此，我欣然应邀作序，书于此！

中国工程院院士：



2017年11月6日

前 言

堆石坝筑坝方便，可就地取材，不受地域、气候和海拔的限制，我国劳动人民积累了丰富的堆石坝筑坝经验。20世纪60—70年代修建的堆石坝多以人工填筑或抛填等方式施工，限于当时的历史条件和技术水平，大部分坝体持续变形，防渗体反复破坏，险情突出；同时，近年来一些新建堆石坝建成蓄水后，也出现了不同程度的渗漏等病险情，需要进行病害检测，并采取适当措施进行除险加固。20世纪90年代至21世纪初，我国对病险水库进行了大规模除险加固，其中包括大量的各种类型的堆石坝。病险堆石坝加固不同于土石坝的其他坝型加固，除险加固技术难度大。为此，工程技术人员对堆石坝安全诊断和除险加固技术开展了系统研究和大量工程实践，积累了丰富的经验，取得了丰硕的技术成果。本书的编著者以总结经验、凝练技术为出发点，试图对堆石坝加固技术进行系统总结，形成了这部专著，以期对我国堆石坝加固技术发展尽绵薄之力。

堆石坝在长期运行过程中常见的病害现象是坝体变形和防渗体破坏，突出表现是渗漏超过可接受程度。不同型式的堆石坝，其病险情表现形式及产生的原因不尽相同，需要具体问题具体分析，采用不同的安全诊断方法，采取有针对性的可靠措施根除病险情。近十多年以来，本书编著者一直致力于水库大坝安全诊断与除险加固技术研究与勘察、设计、施工等工作，在堆石坝病害规律、安全检测、除险加固技术等方面取得了系列成果，完成了数十座堆石坝病险情监测与检测、除险加固设计及实施，研发了堆石坝深水微渗漏检测、混凝土面板堆石坝垫层加密、堆石坝变形控制、沥青混凝土心墙堆石坝防渗重构等堆石坝安全诊断与除险加固专有技术。本书在工程实践的基础上，对混凝土面板堆石坝、沥青混凝土心墙堆石坝、土质心墙堆石坝以及爆破堆石坝的病害检测、安全诊断和加固技术进行了较为系统的总结，同时也收集了国内堆石坝加固典型案例，旨在全面介绍堆石坝安全诊断和除险加固技术的同时，重点突出介绍近年采用的创新技术，以期对我国堆石坝安全诊断与加固有所裨益。

本书共6章，第1章为概论，介绍了我国堆石坝建设、检测和加固技术现状及堆石坝主要病害特点等；第2章为堆石坝质量和缺陷检测，介绍了堆石坝渗漏、堆石体密实度、混凝土面板脱空、混凝土防渗墙质量缺陷等检测方法

和粗粒料取料与钻孔可视化技术；第3章为混凝土面板堆石坝加固，介绍了混凝土面板堆石坝的病害特点、加固措施，对防渗面板加固与脱空处理、垫层料加密处理、水下防渗加固、堆石体变形控制等进行了重点介绍；第4章为沥青混凝土心墙堆石坝加固，介绍了沥青混凝土心墙堆石坝的病害特点和加固措施，主要介绍了混凝土防渗墙、控制灌浆技术对沥青混凝土心墙坝进行防渗加固；第5章为土质心墙堆石坝加固，结合我国病险土石坝除险加固，介绍了混凝土防渗墙、高喷灌浆以及土质防渗体裂缝处理技术；第6章为爆破堆石坝加固，根据我国爆破堆石坝发展及加固处理现状，结合典型工程实例，主要介绍了坝体加固、复合土工膜及混凝土防渗墙防渗加固在爆破堆石坝中的技术应用。

本书在编写过程中得到了长江勘测规划设计研究院、国家大坝安全工程技术研究中心、长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）、长江地球物理探测（武汉）有限公司、南京帝坝工程科技有限公司、中国水利水电基础局有限公司等单位的大力支持，长江勘测规划设计研究有限责任公司陈艳、高大水、位敏和武汉大学曾力教授等对本书的编写也付出了辛勤劳动。本书引用的典型工程实例，有的是编著者和同事与合作单位共同的工作成果，也收集引用了国内有关单位同仁的文献资料，在此一并表示衷心感谢！

由于堆石坝加固涉及的技术广泛，加之编著者实践经验与水平所限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编著者

2017年11月

目 录

序

前言

第 1 章 概论	1
1.1 堆石坝建设现状	1
1.2 堆石坝主要病害型式与特点	5
1.3 堆石坝检测和加固技术现状	8
1.4 总结与思考	11
参考文献	13
第 2 章 堆石坝质量和缺陷检测	14
2.1 概述	14
2.2 渗漏检测	14
2.3 密实度检测	40
2.4 混凝土面板脱空检测	50
2.5 混凝土防渗墙质量缺陷检测	51
2.6 粗粒料取样与钻孔可视化技术	63
参考文献	66
第 3 章 混凝土面板堆石坝加固	68
3.1 概述	68
3.2 面板堆石坝加固措施	82
3.3 混凝土防渗面板加固	90
3.4 面板脱空处理	113
3.5 垫层料加密处理	122
3.6 水下防渗加固	129
3.7 堆石体控制灌浆加固	140
参考文献	160
第 4 章 沥青混凝土心墙堆石坝加固	162
4.1 概述	162
4.2 沥青混凝土心墙坝防渗加固措施	172
4.3 沥青混凝土心墙坝防渗墙加固	176
4.4 沥青混凝土心墙坝灌浆加固	190
参考文献	206

第 5 章 土质心墙堆石坝加固	208
5.1 概述	208
5.2 土质心墙堆石坝加固	212
5.3 混凝土防渗墙加固	214
5.4 高喷防渗加固	233
5.5 土质心墙裂缝处理	243
参考文献	250
第 6 章 爆破堆石坝加固	251
6.1 概述	251
6.2 爆破堆石坝加固措施	252
6.3 爆破堆石坝坝体加固	256
6.4 爆破堆石坝复合土工膜防渗加固	261
6.5 爆破堆石坝混凝土防渗墙加固	275
参考文献	281

1.1 堆石坝建设现状

堆石坝是不同粒径的石料、砂砾料等经过分层碾压筑成的坝体，并利用上游坡面或坝体内部钢筋混凝土、黏性土、沥青混凝土等弱透水材料或结构作为防渗体的大坝。按照防渗体的材料与部位不同，主要划分为混凝土面板堆石坝、沥青混凝土面板堆石坝、沥青混凝土心墙堆石坝、混凝土心墙堆石坝及土质心墙堆石坝等坝型。其中混凝土面板堆石坝、沥青混凝土心墙堆石坝及土质心墙堆石坝是常用坝型。

堆石坝坝体材料主要是粒径不同的块石、碎石、石渣、砂砾石等。为充分利用当地材料，往往按坝体断面进行材料分区，对不同分区提出不同的材料要求和填筑要求。堆石坝的优点是就地取材，能适应不同的地质条件，施工方法比较简便，对气候适应性强，在坝工界应用较为广泛。随着科学技术的进步及筑坝技术的发展，近年来，高堆石坝乃至 200m 级的特高堆石坝也得到了快速发展。因此，堆石坝是水利水电工程中极为重要的一种坝型。

采用堆石料筑坝最早出现在 18 世纪 50 年代的美国西部淘金热时期，早期的堆石坝高度一般较低。填筑方式和防渗结构多种多样，堆石体有采用抛填加以水枪冲射，也有采用推土机碾压或人工砌筑，甚至直接爆破成坝等，坝坡有的较陡（陡于 1:1），有的较缓（缓于 1:2）。防渗结构采用弱透水材料建成的防渗面板或心墙、斜心墙。

自 20 世纪 80 年代以来，随着振动碾压技术的发展与成熟，堆石坝造价低、工期短的优势更加突出。我国修建了一批高堆石坝，尤其是混凝土面板堆石坝和黏土心墙堆石坝。2007 年建成的清江水布垭水电站大坝为世界上已建的最高混凝土面板堆石坝，其最大坝高 233m；糯扎渡水电站大坝是我国已建的最高土质心墙堆石坝，其最大坝高 261.5m；冶勒水电站大坝是我国已建成的最高沥青混凝土心墙堆石坝，其最大坝高 125.5m。在我国堆石坝发展过程中的 20 世纪 60—70 年代，我国还试验性地开展了定向爆破堆石筑坝的研究与实践，其中石砭峪爆破堆石坝最大高度达 85m 左右。

堆石坝在坝工领域占有重要地位，我国的高坝中有一半是堆石坝^[1]。堆石坝种类主要有混凝土面板堆石坝、沥青混凝土心墙堆石坝和土质心墙堆石坝。

20 世纪 80 年代以来，我国在堆石坝勘察设计和施工技术方面开展了大量研究和实践，也吸收了国外堆石坝的经验与教训，在理论上开展了大量研究与探索，我国堆石坝筑坝技术已达到世界领先水平。我国 20 世纪 90 年代以来建成的坝高大于 100m 的混凝土面板堆石坝主要特征指标见表 1.1.1，部分沥青混凝土心墙堆石坝主要特征指标见表 1.1.2，部分坝高 100m 以上土质心墙堆石坝主要特征见表 1.1.3。

表 1.1.1 坝高大于 100m 的混凝土面板堆石坝主要特征指标

序号	坝名	位置	最大坝高/m	大坝体积/(10^6m^3)	建成年份
1	水布垭	湖北	233	15.26	2009
2	三板溪	贵州	185.5	9.61	2006
3	洪家渡	贵州	179	9.00	2005
4	天生桥一级	贵州	178	18.00	2000
5	滩坑	浙江	162	9.80	2009
6	紫坪铺	四川	156	11.80	2006
7	吉林台	新疆	152	9.20	2005
8	龙首二级	青海	146	2.53	2004
9	瓦屋山	四川	139	3.50	2007
10	珊溪	浙江	132.5	5.89	2000
11	公伯峡	青海	132.2	4.53	2006
12	乌鲁瓦提	新疆	132	6.06	2002
13	引子渡	贵州	129.5	2.82	2002
14	街面	福建	129	3.40	2008
15	白溪	浙江	124.4	3.90	2001
16	黑泉	青海	123.5	5.40	2000
17	芹山	福建	122	2.48	1999
18	白云	湖南	120	1.70	1997
19	古洞口	湖南	117.5	1.90	1999
20	芭蕉河	湖北	115	1.92	2004
21	洒南江	云南	115	2.97	2008
22	高塘	广东	111	1.95	2003
23	双沟	吉林	110	2.58	2009
24	那兰	云南	109	2.59	2005
25	茄子山	云南	106	1.40	1999
26	鱼跳	重庆	106	1.95	2001
27	洞巴	广西	105	3.16	2006
28	思安江	广西	103	2.10	2005
29	盘石头	河南	102.2	5.10	2005
30	柴石滩	云南	102	2.17	2000
31	白水坑	浙江	101	1.60	2003

表 1.1.2 部分沥青混凝土心墙堆石坝主要特征指标

序号	坝名	位置	坝高/m	心墙厚度/cm	建成年份
1	冶勒	四川	125.5	60~120	2005
2	茅坪溪	湖北	104.0	50~120	2003
3	党河(二期)	甘肃	74	50	1994
4	龙头石	四川	72.5	50~100	2008
5	照壁山	新疆	71	50~70	2005
6	大竹河	四川	61.0	40~70	2011
7	党河(一期)	甘肃	58	50~150	1974
8	牙塘	甘肃	57	50~100	2003
9	坎尔其	新疆	51.3	40~60	2001
10	碧流河(左坝)	辽宁	49	50~80	1983
11	洞塘	重庆	48	50	2000
12	城北	重庆	47	50	2008
13	平堤	广东	43.4	50~80	2007
14	尼尔基	嫩江	41.5	50~70	2005
15	马家沟	重庆	38.0	50	2002
16	碧流河(右坝)	辽宁	33	40~50	1983
17	霍林河	内蒙古	26.1	50	2008
18	库尔滨	黑龙江	23	20	1981
19	郭台子	辽宁	21	30	1977
20	杨家台	北京	15	30	1980

表 1.1.3 部分坝高 100m 以上土质心墙堆石坝主要特征

序号	坝名	位置	坝高/m	建成年份
1	双江口	四川	314	在建
2	长河坝	四川	240	在建
3	糯扎渡	云南	261.5	2013
4	瀑布沟	四川	186	2009
5	小浪底	河南	154	2005
6	黑河	西安	127.5	2001
7	狮子坪	四川	136	2007
8	恰甫其海	新疆	108	2005
9	水牛家	四川	108	2006
10	鲁布革	云南	103.8	1991
11	碧口	甘肃	101	1997

混凝土面板堆石坝堆石体主要由主堆石区、垫层、过渡层、次堆石区等组成，主堆石区是大坝上游坡和防渗面板稳定的重要保障，垫层主要是为面板提供平整密实的基础，将面板承受的水压力均匀地传递到主堆石体，过渡层位于垫层和主堆石体之间，主要作用是保护垫层在高水头作用下不产生渗透破坏，次堆石区保证坝体和下游坝坡的稳定。湖北清江水布垭混凝土面板堆石坝坝体典型剖面及材料分区如图 1.1.1 所示。

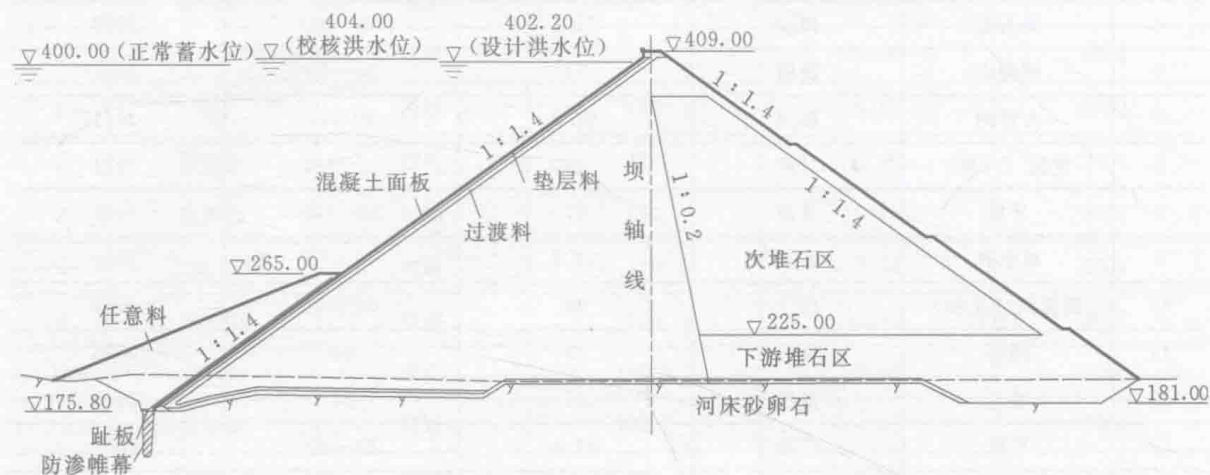


图 1.1.1 混凝土面板堆石坝典型横剖面及材料分区图 (单位: m)

沥青混凝土心墙堆石坝坝体主要由上游堆石区、过渡层、排水层、下游堆石区以及坝体护坡等组成，过渡层和排水层分别位于沥青心墙上下游侧，同时对心墙起保护作用。三峡茅坪溪沥青混凝土心墙堆石坝典型剖面及材料分区如图 1.1.2 所示。

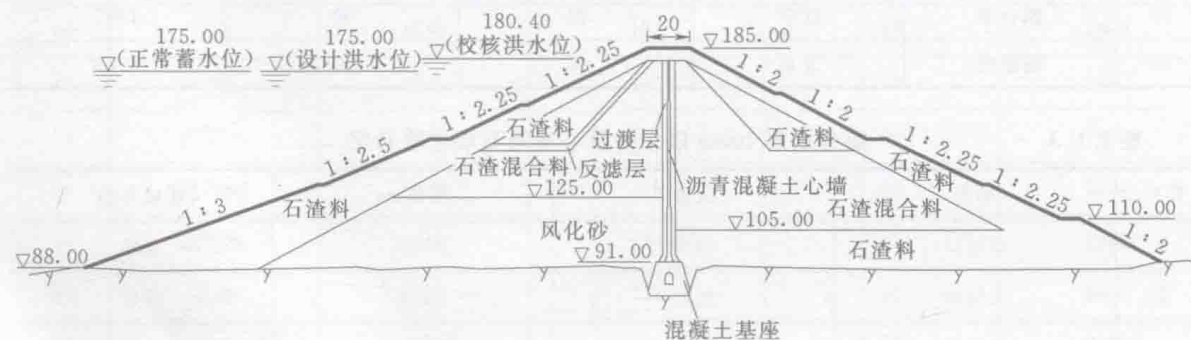


图 1.1.2 沥青混凝土心墙堆石坝典型横剖面及材料分区图 (单位: m)

土质心墙堆石坝坝体主要由上游堆石区、过渡层、反滤排水层、土质心墙、下游堆石区以及坝体护坡等组成，过渡层和反滤排水层的粒径和级配应满足土质心墙的反滤要求。云南糯扎渡土质心墙堆石坝典型剖面及材料分区如图 1.1.3 所示。

我国堆石坝建设在取得巨大成就与技术进步的同时，也有严重不足乃至惨痛教训。个别面板堆石坝建成不久发生溃决；部分面板堆石坝运行一段时间后，出现严重坝体渗漏，不得不放空水库进行检查和维修加固；部分沥青混凝土心墙坝完工后初次蓄水就发生严重漏水，甚至无法蓄水。目前我国堆石坝筑坝技术发展迅速，但对于堆石坝病害规律、诊断以及除险加固成套技术还缺乏系统研究，不能适应大坝安全控制的需要。

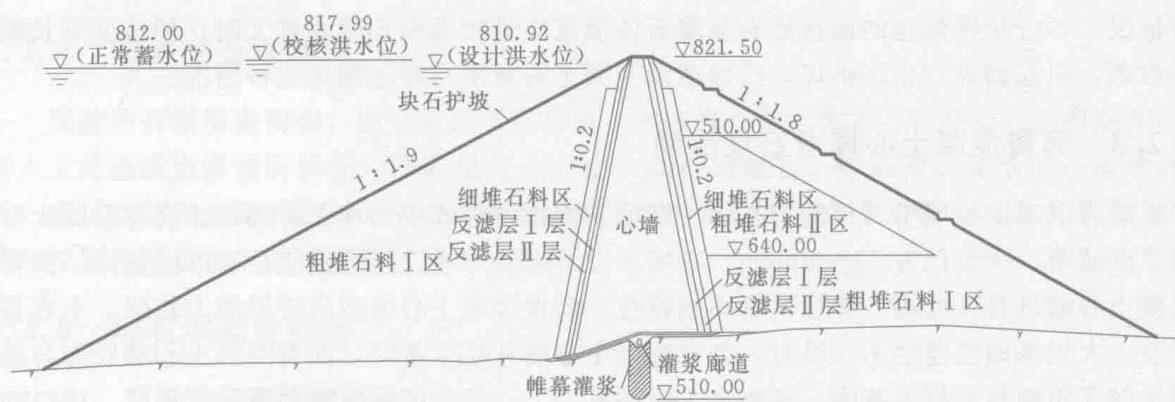


图 1.1.3 土质心墙堆石坝典型横剖面及材料分区图 (单位: m)

1.2 堆石坝主要病害型式与特点

堆石坝总体而言表现出了良好的运行状态, 20 世纪 80—90 年代建设的混凝土面板堆石坝, 近年来有一些大坝出现了不同程度的渗漏和变形问题。如湖南白云和株树桥混凝土面板堆石坝长期渗漏导致面板局部破坏, 最终出现坝体渗漏严重; 贵州洪家渡面板堆石坝、天生桥一级面板堆石坝的面板破损; 湖北西北口面板堆石坝面板裂缝等。近几年建成的混凝土面板堆石坝, 也有蓄水后即出现了严重渗漏等问题的, 如四川布西混凝土面板堆石坝、云南普西桥混凝土面板堆石坝。有为数不少的沥青混凝土心墙堆石坝建成后渗漏严重, 如重庆马家沟、内蒙古霍林河、四川大竹河等水库的沥青混凝土心墙堆石坝建成后渗漏严重, 水库不能正常蓄水, 进行了防渗处理后才能正常运用。土质心墙堆石坝防渗体厚度较大, 一些早期修建的土质心墙堆石坝, 出现渗漏和坝体局部变形等病害现象。

堆石坝的主要病害是坝体渗漏和变形过大等问题, 产生的主要原因是防渗体破坏、堆石体填筑质量达不到要求。堆石体填筑质量问题主要表现在大坝填筑料分区不清晰、上坝料控制不严、填筑铺料超厚、超径石集中、局部架空、填筑结合部和分区交界部位填筑质量差等。

1.2.1 混凝土面板堆石坝渗漏

混凝土面板堆石坝的防渗体是位于上游坝坡的钢筋混凝土面板。面板厚度较薄, 一般为 30~100cm, 面板下部设垫层和过渡层, 河床基础及两岸通过趾板与基岩衔接, 近年来部分覆盖层较深的面板堆石坝河床基础趾板下部设混凝土防渗墙, 构成完整的防渗体系。面板堆石坝钢筋混凝土防渗面板为现浇混凝土, 为方便施工, 适应堆石体变形, 面板需设结构缝和周边缝, 结构缝和周边缝设 2~3 道止水, 分缝表面设嵌缝材料和盖片保护结构^[2]。

正常的混凝土面板堆石坝渗漏特点是渗漏量随着时间延长减少或不变, 渗漏量随着时间延长不断加大, 则意味着出现了渗漏病害, 如面板与趾板止水结构破坏、面板因垫层脱空引起断裂、面板因变形裂缝而产生渗漏。湖南白云和株树桥等面板堆石坝的渗漏均属这

种情况。部分早期修建的面板堆石坝堆石体填筑质量较差和孔隙率较大时,坝体变形长期不收敛,引起面板和止水破坏,广西磨盘混凝土面板堆石坝渗漏属这种情况。

1.2.2 沥青混凝土心墙堆石坝渗漏

沥青混凝土心墙堆石坝的防渗体一般位于大坝中部或中间偏上游部位。沥青混凝土心墙厚度较薄,一般仅为30~100cm,心墙不设结构缝,通过热熔接使心墙形成整体。沥青混凝土心墙具有强度高、弹性模量小的特性。沥青混凝土心墙适应变形能力较强,不容易开裂。大坝基础覆盖层不太厚时,沥青混凝土心墙开挖至基岩,沥青混凝土心墙底部与基础接触采用钢筋混凝土基座,基座置于完整基岩上。部分低坝因坝基覆盖层太厚,难以开挖至基岩,坝基下部采用混凝土防渗墙防渗,沥青混凝土心墙底座置于混凝土心墙顶。沥青混凝土心墙一旦存在施工质量缺陷,或运行一段时间后被破坏,大坝就会产生渗漏。同时,沥青混凝土心墙与基础底座连接部位容易出现而引起渗漏。由于沥青混凝土心墙厚度较薄,渗径较短,一旦出现由于心墙问题引起的渗漏,大多是渗漏量较大的集中渗漏。

沥青混凝土心墙堆石坝出现渗漏的时间多是水库刚蓄水或蓄水后不久。如果沥青混凝土心墙存在施工质量缺陷,水库一蓄水就会产生渗漏。大坝堆石体填筑孔隙率较大时,坝体就会产生较大沉降和水平变形,此时也会引起沥青混凝土心墙变形和受力较大,从而使沥青混凝土心墙产生裂缝,甚至破坏,这也是沥青混凝土心墙堆石坝蓄水初期出现渗漏并不断加重的原因。

由于沥青混凝土心墙堆石坝的渗漏主要是心墙破坏引起的,而沥青混凝土心墙厚度较薄,且位于坝体中部,难以直接钻孔进行相关检查,无法准确地判断存在问题的部位和高程。

1.2.3 土质心墙堆石坝渗漏

土质心墙堆石坝防渗体为碾压后渗透系数较小的黏性土或砾质土,防渗体厚度较大,顶部厚度一般为3~5m,底部厚度随着坝高增加而加厚。为防止粒径较小的土颗粒流失,土质心墙上下游侧一般设2~3层反滤层或过渡层。

土质心墙堆石坝渗漏主要是土质心墙存在填筑质量问题,或运行一段时间后土质防渗体产生裂缝引起的。渗漏点一般比较分散,有时渗水从下游坝坡和坝脚逸出。引起坝体渗漏产生的主要原因有以下几个方面:

- (1) 土料场选择不当,所选的防渗土料的抗渗性能指标不满足设计要求。
- (2) 填筑质量差,碾压施工不当,坝体的压实度偏低,防渗体渗透系数达不到规范要求。
- (3) 反滤设计不合理或未设置反滤设施,或反滤已经失效。
- (4) 地震造成心墙防渗体出现裂缝等。

早期修建的部分黏土心墙堆石坝基础或坝内设引水或泄洪涵管,有的两岸与挡墙、导墙等刚性结构接触,这些部位容易产生接触渗漏。坝体与涵管管壁之间的接触部位,由于设计和施工等多方面的原因往往容易成为渗漏薄弱部位而发生接触冲刷甚至垮坝失事。

1.2.4 爆破堆石坝渗漏

爆破堆石坝形成初期, 由于没有防渗措施, 坝体堆石杂乱无章, 往往需通过自然沉积和人工措施适当修建防渗体, 渗漏量有一个由大到小的过程。爆破堆石体形成一段时间后, 通过监测和必要的勘探评估, 再设置防渗措施, 控制不产生集中渗漏和破坏性渗漏, 同时控制渗漏量, 保证水库蓄水和用水要求。

1.2.5 堆石坝其他病害

1.2.5.1 坝基渗漏和绕坝渗漏

坝基渗漏通常是由于坝基防渗处理不当, 或坝基未作防渗处理, 或坝基防渗设施失效而产生的。特别是对于强透水的砂砾石或砂层地基, 易产生接触渗透变形, 地层允许渗流出逸坡降较小, 若出逸部位没有完善的反滤保护措施, 随着运行时间增长, 细颗粒逐渐流失, 渗漏会越来越严重, 甚至流出浑水或翻砂。引起坝基渗漏产生的主要原因有如下方面:

(1) 清基不彻底。筑坝前未将松动土层清除干净, 或者破碎风化层未清到相对不透水层。

(2) 防渗措施设计不合理。在砂卵石地基上游坝前, 铺盖厚度不够、填筑质量不好; 或者坝基透水层未做截水处理。

(3) 坝基存在透水岩层或岩溶发育地层, 没有采取帷幕灌浆等防渗措施, 建立起完整的防渗体系。

水库蓄水后, 库水通过坝体两端的岸坡渗向下游, 并在下游岸坡逸出现象称为绕坝渗漏。绕坝渗漏可能沿着坝岸结合面, 也可能沿着岸坡松散的坡积层和岩石风化层或裂隙发育的基岩渗向下游。绕坝渗漏将使岸坡或坝体内的浸润线抬高, 使坝坡或岸坡背后出现潮湿、软化和集中渗漏, 甚至引起坝坡或岸坡塌陷或滑坡, 影响大坝安全。引起绕坝渗漏产生的主要原因有:

1) 坝肩或坝基地质条件差。造成绕坝渗漏的内因是由于两岸坝肩或坝基地质条件差, 如山体单薄, 岩层破碎, 节理裂隙发育以及断层、岩溶等, 岩层透水性大; 坝肩或坝基未采取防渗措施, 或处理措施不完善。

2) 施工质量不符合要求。施工中由于开挖困难或工期紧等原因, 没有根据设计要求进行施工, 如坝体与岸坡接触带清基不彻底; 岸坡坡度开挖过陡, 坝体碾压不到位; 截水槽回填质量不好, 形成渗漏通道, 并引起接触冲刷。

1.2.5.2 堆石体变形超限

坝体不均匀沉陷的原因主要是堆石体填筑质量差、碾压不密实、孔隙率偏大, 导致坝体持续变形, 坝体变形长期不收敛, 甚至局部或大范围产生不均匀沉陷, 使面板堆石坝的钢筋混凝土面板及接缝止水、沥青混凝土心墙堆石坝的沥青混凝土心墙难以适应大变形而遭到破坏。

对于面板堆石坝, 堆石体大变形会使垫层逐步淘空, 过渡料逐渐流失, 进一步破坏面板和止水结构, 如此反复恶性循环, 最终使防渗系统产生严重破坏; 对于沥青混凝土心墙

堆石坝，大变形可能会使心墙发生严重水平错位。对于黏土心墙堆石坝，大变形会使黏土心墙产生水平和顺流向裂缝，在渗流的长期作用下，进而使裂缝不断扩大和发展。

1.2.5.3 护坡破坏

护坡是堆石坝坝体结构的重要组成部分，护坡由于长期受风浪、水浸、冻融、坝体变形、震动等自然因素以及人类活动的影响，容易产生破坏。护坡破坏类型主要有：脱落、塌陷、崩塌、滑动、挤压、鼓胀、溶蚀等。

护坡破坏的主要原因如下：

(1) 坝体不均匀沉陷。坝体不均匀沉陷的原因主要是坝体填筑质量差、碾压不实。水库投入运行蓄水后，局部或大范围产生不均匀沉陷，护坡相对错动，缝隙加大，护坡上下不连续，垫层被淘空，坝面大面积塌陷。

(2) 风浪压力作用。风浪作用是护坡毁坏的主要原因。波浪从风中获取能量，当坝前水深小于临界波对应的水深时，波能集中于水面形成击岸波，即涌浪。涌浪以很大的能量撞击坝面。自波浪开始破碎点至最大爬高点之间的区域为“破碎区”。在破碎区内水流质点紊动剧烈，与坝面摩擦，损耗自身能量并造成护坡的损坏。波浪周而复始地运动，在冲刷坝面的同时也消耗其能量。当波动的水流沿坝面下拖时，透入坝坡的水体将产生反向压力——浮托力，该力可能将护坡掀起。波浪运动的交替作用，可将护坡垫层及大坝土料淘出，进而使坝面塌陷，造成护坡破坏。

(3) 护坡施工质量差。块石护坡施工中存在的问题较多，常见的是垫层厚度不够或碎石铺设不均匀、不合理。选用的块石料强度低，抗风化能力差，风化破碎严重；块石铺砌时，垫塞不坚实，稳定性不好，整体性差；不同的单位分段施工，衔接处施工质量差，出现局部损坏或塌陷。

(4) 冰冻破坏。冰对护坡的破坏作用主要是静冰压力所产生的推力作用，巨大的冰推力使护坡块石向上隆起，冰体本身还具有弹塑性，渗入护坡坝壳孔隙里的库水冰冻会发生膨胀，使砌石凸起，使砌缝裂开松动。

(5) 管理不善，维修不及时。长期以来，水利工程受“重建设、轻管理”思想的影响，水库工程管理工作得不到应有的重视。现有工程已进入老龄期，老化严重，但由于维修加固经费不足等原因，许多工程病害隐患得不到及时治理，使病害越积越多，促使破坏加剧。护坡垫层被淘空有一个渐变过程，当出现局部塌陷或石块松动下滑时，若能及时修复就不会使损坏继续发展。因此，及早发现和修复损坏部位不留隐患是十分重要的，否则在风浪作用下有可能发生大面积的毁坏。

1.2.5.4 坝体欠高

随着水文系列资料的延长，设计洪水成果会发生变化。按国家现行洪水标准和规范复核，部分堆石坝防洪标准可能达不到规范要求，大坝坝顶高程或防渗体顶部高程达不到挡水要求。

1.3 堆石坝检测和加固技术现状

我国早期修建的堆石坝虽然高度不是很高，但由于资金、技术和管理等多方面的原