

冰湖溃决灾害综合风险评估与管控

——以中国喜马拉雅山区为例

王世金 汪宙峰 著

中国社会科学出版社

冰湖溃决灾害综合风险评估与管控

——以中国喜马拉雅山区为例

王世金 汪宙峰 著



中国社会科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

冰湖溃决灾害综合风险评估与管控:以中国喜马拉雅山区为例/王世金,汪宙峰著. —北京:中国社会科学出版社, 2017. 3

ISBN 978 - 7 - 5161 - 9455 - 3

I. ①冰… II. ①王…②汪… III. ①冰川湖—山地灾害—研究
IV. ①P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 308853 号

出 版 人 赵剑英
责任编辑 王 称
责任校对 姜英鑾
责任印制 王 超

出 版 中国社会科学出版社
社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号
邮 编 100720
网 址 <http://www.csspw.cn>
发 行 部 010 - 84083685
门 市 部 010 - 84029450
经 销 新华书店及其他书店

印 装 北京君升印刷有限公司
版 次 2017 年 3 月第 1 版
印 次 2017 年 3 月第 1 次印刷

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 12
插 页 2
字 数 201 千字
定 价 118.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书,如有质量问题请与本社营销中心联系调换
电话:010 - 84083683
版权所有 侵权必究

序

IPCC (2013) 最新评估报告显示, 全球陆地和海洋近地表平均温度在 1880—2012 年间增温 0.85 ($0.65—1.06$) $^{\circ}\text{C}$, 全球暖化的强度和持续性从 20 世纪 70 年代开始越来越显著。以青藏高原为代表的高山地区 50 年来增幅约 1.013°C , 明显高于全球海陆均温增幅。青藏高原显著的变暖趋势已导致喜马拉雅山冰川加速消融, 冰湖稳定性变弱, 冰湖扩张迅速, 为冰湖溃决洪水/泥石流的形成提供了充沛的水源条件。同时, 该区地处印度洋板块与欧亚板块的接触带, 褶皱带内新构造运动强烈, 山区各沟域因风化剥蚀严重, 松散物质丰富, 加之, 该区域地震活动强烈多发, 为冰湖溃决泥石流形成提供了丰富的物源条件和外部胁迫。另外, 该区域地形落差高、坡降大, 此地形条件为冰湖溃决洪水/泥石流的形成提供了巨大的势能条件。可以预见, 在该区增温明显和地震多发的背景下, 形成冰湖溃决灾害的可能性亦然很大。冰湖溃决灾害是气候背景下冰冻圈过程变化对经济社会系统的最直接影响。尽管以往冰湖溃决机理研究进展显著、成果丰富, 但冰湖溃决灾害灾损依然严重, 部分冰湖溃决灾害甚至危及下游国家安全。究其因, 在某种程度上, “冰湖溃决灾害自然学科基础研究与社会学科需求研究相互分割、前因与后果研究相互脱节”, 是造成这种结果的重要原因。特别是, 对冰湖溃决灾害综合风险系统的认识还显不足, 面对冰湖溃决灾害预警预报、应急管理、风险管理与控制等方面问题时仍缺乏必要的理论支撑。

“凡事预则立, 不预则废, 与风险共存, 始终做到居安思危、防患于未然”, 是任何自然灾害风险管理的指导思想。冰湖溃决灾害风险评估与管理亦然, 其灾前预防与管理、控制远远胜过灾后补救与重建。《冰湖溃决灾害

综合风险评估与管控：以中国喜马拉雅山区为例》一书，以中国喜马拉雅山区为典型案例区，以冰湖溃决历史灾情分析为基础，综合分析冰湖溃决灾害发生的自然社会背景，辨识了溃决灾害形成的关键性控制因子。在此基础上，系统分析了冰湖溃决风险，进而建立了冰湖溃决预测模型及冰湖溃决灾害风险评估体系，并对其进行了综合评估。该书以“以人为本，预防为主、避让与治理相结合”为指导思想，建立以“灾前预警预报、风险规避与处置、灾害风险全过程管理”于一体的冰湖溃决灾害群测群防综合风险管理体系。其研究，必将深化对冰湖溃决灾害风险评估与风险管理的科学认识水平，促进冰冻圈过程变化对经济社会系统的影响与适应示范研究，同时，也将为冰冻圈多灾种综合风险评估与区划提供科学支撑。特别地，其研究也是指导冰湖溃决高危区土地与城镇规划和制订防灾减灾规划的必要基础，而且直接关乎冰湖溃决灾害承灾区经济社会的持续健康发展。

中国科学院院士

秦大河

国家减灾委专家委员会主任

2016年10月16日于北京

前 言

冰湖溃决洪水/泥石流灾害是气候变化和地震活动等间接因素引发的一种自然灾害,较降雨型洪水/泥石流,冰湖溃决频率较低,预兆不明显,预警难度较大,从而决定了冰湖溃决灾害乃小概率、大风险之特性。同时,冰湖溃决型泥石流具有突发性强、洪峰高、流量大、破坏力大和灾害持续时间短但波及范围广等特点,其灾害严重影响着承灾区居民的生命财产安全,以及寒区交通运输、基础设施、农牧业、冰雪旅游发展乃至国防安全,使冰冻圈承灾区经济社会系统遭到了巨大破坏并潜伏多种威胁。历史灾情显示,以往 24 次冰湖溃决灾害便发生在喜马拉雅山区,这一区域已成为世界上第二大冰湖溃决灾害频发区和重灾区。喜马拉雅山区新构造运动强烈,构造地震活动频繁强烈。地震常破坏山体、冰体及坝体结构,引起冰湖自身状态失衡、沟道松散物质增加,冰湖溃决、沟道滑坡乃至冰湖溃决泥石流潜在风险随之增加。震后,冰湖溃决应成为该区首要关注的重大防灾减灾问题。可以预见,在地震频发和持续增温背景下,该区形成冰湖溃决灾害的可能性亦很大。

冰湖溃决灾害属于频率较低但灾害影响严重的自然灾害。全面认识和客观评价冰湖溃决灾害风险,是提高冰冻圈灾害风险分析水平、增强其风险控制与管理能力的前提和基础。以往冰湖溃决研究主要集中于溃决特征、机理、演进模拟等自然属性的研究,且取得了较为显著的进展。在方法上,则经历了由野外观测到 3S 技术与野外观测相结合、从历史与现状分析向预测与研究相结合、从定性分析趋向定量研究、由经验估算到基于物理过程的建模模拟、由单项要素分析趋向综合要素评价转变的发展历程。同时,评价方法也由传统的成因机理分析和统计分析向多种评价方法相结合发展。

然而,冰湖溃决灾害综合风险评估是对尚未发生的冰湖溃决承灾区损失的可能性评定和预估,以往冰湖溃决灾害研究多集中于冰湖溃决机理及其溃决危险性评估方面,而承灾区脆弱性评估及其风险管理研究则很少被纳入其综合风险评估之中,而冰湖溃决灾害往往是由这些因素共同决定。目前,还未形成一套冰湖溃决灾害综合风险评估、区划与管理的方法体系。

早在20世纪50—80年代,南美洲秘鲁科迪勒拉布兰卡山区因巨大冰湖溃决灾害使其下游人口、城镇及文化遗产遭受巨大破坏,为此,80年代秘鲁政府就对35处潜在危险性冰湖逐一实施了工程措施(加固坝体和泄洪)。喜马拉雅山区是除秘鲁布兰卡山之外的世界上第二大冰湖溃决灾害重灾区 and 频发区。然而,自1998年至今,仅对三个危险性湖进行了简单的坝体人工开挖泄洪措施,之后,三个冰湖(中国定结县的龙巴萨巴冰湖、尼泊尔的 Rolpa 冰湖、不丹的 Luggye 和 Raphstreng 冰湖)均因个中原因迫于停止。特别地,2013年7月5日,西藏自治区那曲地区嘉黎县忠玉乡热次热错(面积约为 $57 \times 10^4 \text{m}^2$)冰湖发生溃决,形成洪水与冰川泥石流灾害,致使下游14个行政村不同程度受灾,大片农田被淹、房屋冲毁、牲畜冲走,造成经济损失达2亿元。冰湖溃决灾害造成的巨大经济损失远远高于早期对潜在高危冰湖坝体的防治和库容的泄洪工程费用。可以说,冰湖溃决灾害的工程措施防治宜早不宜迟,其工程措施贵在落实。本书系统分析了冰湖溃决灾害时空规律及孕灾环境动态特征,揭示了冰湖溃决灾害形成的关键性控制因子。同时,借助多源多时相遥感影像、地形图及相关文献,利用综合评估方法,建立了集“冰湖溃决危险性、暴露性、脆弱性与适应性”于一体的冰湖溃决灾害综合风险评估体系,并对其综合风险进行了系统评估与区划。最后,提出了具体的冰湖溃决灾害风险管理与控制方案。本书的出版将为下一步青藏高原冰湖溃决灾害综合风险辨识、风险评估、风险控制、防灾减灾,以及保障山区基础设施安全、指导山区土地与城镇规划、制订山区防灾减灾规划提供了重要的实践经验和理论基础。同时,该研究为其他灾种提供了一个风险辨识、风险分析与风险评估的基本框架,其研究方法为多灾种自然灾害综合风险评估与管理提供了一个有用而有效的工具,应得到进一步发展。

本书出版得到了国家社会科学基金项目“青藏高原多灾种自然灾害综合风险评估及其管理研究”(14BGL137)、国家重大科学研究计划“冰冻圈

变化及其影响研究”第八课题“冰冻圈变化影响综合分析与适应机理研究”(2013CBA01808)、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所科技服务网络计划(STS-HHS计划)“冰冻圈资源评估与可持续利用”(HHS-TSS-STs-1501)、中国科学院重点部署项目“冰冻圈快速变化的关键性研究”(KTZD-EW-G03-04)、国家自然科学基金委员会创新研究群体科学基金“冰冻圈与全球变化”(41421061)、冰冻圈科学国家重点实验室自主课题(SKLCS-ZZ-2016)等多项研究课题的联合资助。本书中相关灾害术语大部分参考了联合国国际减灾战略2009年减轻灾害风险术语。本书中所用多源多时相遥感影像、数据方法、时间序列与其它文献有一定差别,故同一区域冰湖数量面积及其变化数据可能存在一定出入,但对于冰湖溃决灾害综合风险评估影响颇微。在写作过程中,本书参考和引用了国内同行专家和学者相关冰湖溃决灾害论著的部分结论和成果,在书中已作标注,并在此表示衷心致谢。同时,本书也感谢中国水利水电科学研究院乐茂华博士、中国科学院西北生态环境资源研究院魏彦强、蒲焘、杨春利博士在典型危险性冰湖遥感影像的解译、冰湖溃决预测样本数据的采集与处理等方面所做的工作。为进一步规范冰湖溃决灾害风险评估和区划工作,下一步将依托冰冻圈科学国家重点实验室,在此研究基础上,形成冰湖溃决灾害风险评估和区划技术导则。

冰湖溃决及其成灾机理较为复杂,涉及因素较多,其风险分析、风险评估与风险管理具有一定难度,加之,著者水平所限,本书在理论方法等方面还有许多有待完善之处,恳请广大同行和读者给予批评指正。

作者:王世金

2016.9.26 于金城兰州

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 研究背景	(1)
第二节 研究意义	(4)
第三节 冰湖溃决风险研究进展	(5)
一 冰湖分类、编目及其监测研究	(5)
二 冰湖库容和溃决洪水/泥石流洪峰流量估算	(7)
三 冰湖溃决洪水/泥石流演进模拟	(11)
四 冰湖溃决概率预测	(14)
五 冰湖溃决危险性评估研究	(15)
六 研究述评	(17)
第四节 研究思路与内容	(19)
第二章 研究区、数据与方法	(22)
第一节 研究区概况	(22)
一 区位	(22)
二 气候与植被	(24)
三 地形地貌	(26)
四 地质构造	(28)
五 水文条件	(29)
六 经济社会概况	(32)
第二节 数据与方法	(35)
一 数据与资料	(35)

二	遥感影像解译	(37)
三	自然灾害综合风险组成	(41)
四	冰湖溃决灾害综合风险评估方法	(46)
第三章	冰湖溃决灾害及其致灾机理分析	(48)
第一节	国外冰湖溃决灾害空间分布特征	(48)
第二节	中国冰湖溃决灾害时空特征	(51)
一	年代际变化	(51)
二	空间特征	(52)
三	冰湖溃决灾情概况	(54)
第三节	冰湖溃决机理与成灾条件分析	(58)
一	冰湖溃决诱因	(58)
二	冰湖溃决机理	(59)
三	冰湖溃决成灾条件	(61)
第四章	中国喜马拉雅山区冰湖时空动态变化	(67)
第一节	冰湖空间分布	(67)
一	冰湖数量	(67)
二	冰湖面积	(69)
第二节	冰湖变化趋势	(70)
第三节	气候背景分析	(71)
一	气温变化	(72)
二	降水变化	(73)
第四节	喜马拉雅山中段南北坡冰湖变化对比	(74)
一	科西河流域概况	(75)
二	冰湖空间分布	(76)
三	冰湖演进趋势	(77)
四	潜在危险性冰湖辨识与分析	(78)
五	气候背景分析	(80)
第五节	典型冰碛湖演进与溃决风险分析	(83)

一	研究区	(83)
二	冰湖演进分析	(84)
三	冰湖潜在危险性分析	(87)
四	影响因素分析	(89)
第五章 冰湖溃决预测模型构建及其应用		(91)
第一节	现有冰湖溃决预测方法分析	(91)
一	冰湖溃决预测指标的选取	(91)
二	冰湖溃决预测指标选取原则	(94)
第二节	冰湖溃决预测模型的建立	(95)
一	模型建立	(95)
二	模型验证	(98)
三	模型应用	(99)
四	模型讨论	(101)
第六章 冰湖溃决灾害风险评估体系构建		(103)
第一节	冰湖溃决灾害综合风险体系	(103)
第二节	冰湖溃决灾害风险评估体系构建	(104)
一	指标设计原则	(104)
二	指标筛选方法	(105)
三	风险因子分析	(106)
四	评估体系建立	(108)
第三节	指标赋权与权重分析	(109)
第四节	风险评估模型构建	(111)
一	数据标准化处理	(111)
二	评估模型	(112)
第七章 冰湖溃决灾害综合风险评估与区划		(113)
第一节	冰湖溃决灾害危险性风险分析	(113)
第二节	冰湖溃决灾害暴露性风险分析	(117)

第三节	冰湖溃决灾害脆弱性风险分析	(121)
第四节	冰湖溃决灾害适应性风险分析	(124)
第五节	冰湖溃决灾害综合风险评估与区划	(128)
第八章	冰湖溃决灾害综合风险管理与控制	(130)
第一节	指导思想	(130)
第二节	风险管理与控制流程	(131)
第三节	风险管理与控制方法、技术	(133)
一	风险管理方法	(133)
二	风险控制技术	(136)
第四节	典型冰湖溃决灾害风险管理与控制案例	(137)
一	研究区	(137)
二	典型冰湖编目	(138)
三	冰湖溃决灾害风险防控措施	(139)
第五节	风险管理与控制具体措施	(141)
一	定期监测冰湖动态,排查重点冰湖危险性	(141)
二	采取合理工程措施,有效地控制冰湖险情	(142)
三	实施多方参与机制,提升防灾减灾综合能力	(143)
四	落实社区风险管理机制,完善社区群测群防体系	(144)
五	落实灾害评估规划,强化冰湖溃决灾害防范能力	(145)
六	因势利导、趋利避害,高效利用冰湖水利水电资源	(147)
	主要参考文献	(148)
	附录:不同区域典型潜在危险性冰湖	(174)

第一章 绪论

冰湖溃决灾害是在冰川作用区因冰湖区冰/雪崩、强降水、冰川跃动、地震等外部因素或冰碛坝内死冰消融、堤坝管涌扩大等内部因素激发冰碛湖自身状态失衡而溃决，引发溃决洪水/泥石流，危及居民生命、财产、基础设施等经济社会系统，并产生破坏性后果的冰冻圈灾害。受全球气候变暖影响，冰湖溃决洪水/泥石流等重大自然灾害发生频率有所升高，严重影响着脆弱的山区生态系统和经济社会系统。目前，冰湖溃决灾害影响程度以及范围有扩大趋势，其风险管理与研究已受各国学界与政界的广泛关注。

第一节 研究背景

政府间气候变化专门委员会（IPCC）最新评估报告显示，全球陆地和海洋近地表平均温度在 1880—2012 年增温 0.85（0.65—1.06）℃，2003—2012 年的平均温度比 1850—1900 年的平均温度增加约 0.78℃。与整个 20 世纪缓慢的暖化趋势相比，全球暖化的强度和持续性从 20 世纪 70 年代开始越来越显著，其影响范围和程度在不断增加，由此引起的气候事件和气候灾害无论是频率、强度还是损失情况都有增加趋势（IPCC, 2013）。冰冻圈（地球表层由山地冰川、极地冰盖、积雪、冻土、海冰等固态水组成的圈层）是地球上重要的淡水固体水库和水源涵养区，在维系区域生态、工业、农牧业和居民生活用水方面具有重要的保障功能，在造就山地垂直地带景观、稳定生态系统完整性、调节河川径流等方面也扮演着重要角色，特别在一些高山区冰冻圈还是地方经济发展的重要旅游资源（Wang et al., 2010）。然而，冰冻圈却是全球变化最快速、最显著、最具指示性，也是对

气候系统影响最直接和最敏感的圈层（秦大河等，2006），冰冻圈变化由此也诱发了寒区各类灾害频繁发生。其中，冰湖突然溃决而引发的溃决洪水或泥石流具有明显的突发性、区域性和难预测性，其灾害严重影响着承灾区居民的生命财产安全，以及寒区交通运输、基础设施、农牧业、冰雪旅游发展乃至国防安全，使冰冻圈承灾体经济社会系统遭到了巨大破坏并潜伏多种威胁，已成为制约世界寒区经济社会可持续发展的重要因素之一。

冰湖溃决洪水（Glacial Lake Outburst Floods, GLOFs）灾害是指在冰川作用区，由于冰湖突然溃决而引发溃决洪水或泥石流，危及居民生命和财产安全并对自然和社会生态环境产生破坏性后果的自然灾害。冰湖溃决洪水/泥石流灾害是气候变化和地震活动等间接因素引发的一种自然灾害，较降雨型洪水/泥石流，冰湖溃决频率较低，预兆不明显，预警难度较大，从而决定了冰湖溃决灾害有小概率、大风险之特性。同时，冰湖溃决型泥石流具有突发性强、洪峰高、流量大、破坏力大和灾害持续时间短但波及范围广等特点，常造成巨大的财产损失和严重的人员伤亡。冰湖溃决灾害风险评估是通过风险分析方法，对尚未发生的冰湖溃决灾害致灾因子强度、灾害规模、受灾程度，进行科学合理的评估。受全球气候变暖的影响，冰湖溃决产生的洪水、泥石流等重大冰川灾害发生频率有所升高，严重地影响着脆弱的山区生态系统和经济社会系统。全球范围内，包括欧洲阿尔卑斯山区（Huggel et al., 2004）、喀喇昆仑山（Hewitt, 1982）、冰岛（Tweed and Russell, 1999）、安第斯山脉（Carey, 2008）、加拿大落基山脉（McKillop and Clague, 2007ab）、天山（Mayer et al., 2008）和喜马拉雅山在内的许多山地和国家地区（Bajracharya et al., 2007ab）往往是冰湖溃决灾害的频发区和重灾区。南美洲秘鲁安第斯山地区有记录的 30 次冰川灾害中，冰湖溃决灾害 21 次，占冰川灾害总数的 70%，夺去了接近 30000 人的生命（Kaser and Osmaston, 2002；Carey, 2005, 2008）。

中国与印度、尼泊尔、巴基斯坦和不丹之间的兴都库什—喜马拉雅山地区冰湖溃决灾难亦很频繁和严重（Vuichard and Zimmerman, 1987），其间分布有 8000 多个冰湖，存在潜在危险性冰湖达 203 个，面积 801.83 km²（Ives et al., 2010；ICIMOD, 2011），该区域地处印度洋板块与欧亚板块的接触带，褶皱带内新构造运动强烈，地表提升较为明显、山区各沟域因风

化剥蚀,松散物质丰富。同时,该区域地震活动强烈,气候变暖趋势明显。该区下游人口较为稠密,基础设施较为密集,冰冻圈灾害发生概率较高,是冰湖溃决洪水/泥石流灾害发生的主要区域。其中,20世纪50年代,尼泊尔和不丹喜马拉雅山地区冰湖溃决事件大概每10年发生一次。90年代,上升至每3年一次。截至2000年,冰湖溃决事件频率几乎达到了每年一次(Richardson and Reynolds, 2000)。为此,联合国环境发展计划(UNEP)支持国际山地中心(ICIMOD)在兴都库什—喜马拉雅山地区开展冰湖研究工作,现已完成大部分冰湖编目工作,并对全球变暖导致的潜在冰湖溃决洪水及泥石流灾害进行了识别(Ives et al., 2010)。特别是,冰湖溃决引发的泥石流,因突发性强、频率低、洪峰高、流量大、流量过程暴涨暴落和破坏力强及灾害波及范围广等特点,越来越受到关注。

中国境内喜马拉雅山系共发育有冰川6472条,冰川面积8418 km²,冰储量712 km³ (Shi, 2008),分别占整个喜马拉雅山系冰川总量的35.83%、23.98%和19.07%。至2006年,中国喜马拉雅山区面积大于0.014 km²的各类冰湖共有148个,其中,90个为冰碛湖(刘冲, 2013)。山区巨大的冰湖数量以及面积的广泛分布和存在是区域气候变化的结果。研究显示,青藏高原过去30年升温速率为 $0.3^{\circ}\text{C} \times (10\text{ a})^{-1}$,是全球升温速率的2倍(Zhu et al., 2010; Yao, 2010)。1961—2010年,整个喜马拉雅山区平均升温速率则达到了 $0.38^{\circ}\text{C} \times (10\text{ a})^{-1}$ (张东启等, 2012)。近期,该山区显著的变暖趋势已导致冰川加速消融,冰湖稳定性变弱,冰湖扩张迅速。例如,1974—2010年,喜马拉雅山中西段交界处杰玛央宗冰湖面积扩张明显,由0.70 km²扩张至1.14 km²,增加了63.7%(刘晓尘和效存德, 2011)。20世纪80年代至2000/2001年,喜马拉雅中段朋曲流域冰湖总面积增加了5.477 km²(车涛等, 2004)。同期,波曲流域面积大于0.02 km²的冰湖数量则增加了11%,冰湖面积增加了47%(Chen et al., 2007)。2007年,喜马拉雅山东段洛扎县面积大于0.02 km²的冰湖53个,总面积13.05 km²,较1980年,面积增加了3.08 km²,增加比例高达30.90%(李治国等, 2011)。近30年,中国喜马拉雅山区冰湖总数减少了4%,面积增加了29%,总体呈现“数量减少、面积增大”态势(王欣等, 2010),从而引发多起冰湖溃决灾害。20世纪30年代至2013年,西藏自治区有记录的31个

冰碛湖发生 40 次冰湖溃决事件，并形成不同程度的灾损。其中，24 次冰湖溃决灾害发生在喜马拉雅山区。近 15 年，中国喜马拉雅山区至少发生 7 次冰湖溃决灾害，分别为吉隆县扎那错（1995）、聂拉木县嘉龙错（2002）、康马县冲巴吓错（2000）、洛扎县得嘎错（2002）及得嘎错西北一冰湖（1999）、错那县浪错（2007）和折麦错（2009），造成巨大人员伤亡和财产损失。可以说，中国喜马拉雅山区冰湖溃决灾害极为严重，潜在威胁巨大，理应得到广泛关注。

第二节 研究意义

中国喜马拉雅山区是世界上中低纬度冰冻圈发育最为良好的区域，其冰冻圈环境变化直接影响冰湖溃决灾害的发生。在气候变暖和山区经济快速发展背景下，如何有效应对和适应该区冰湖溃决灾害对山区经济社会系统的影响，已成为学界和当地政府需要面对和解决的重大环境风险问题。而科学认识该区域潜在危险性冰湖的时空动态特征、冰湖溃决灾害链的形成及演化机制、承灾区暴露要素空间分布、承灾体脆弱性、承灾区适应性风险水平，将有效提升潜在危险性冰湖溃决灾害风险评估的系统性和科学性，其研究结果将为喜马拉雅山区冰湖溃决灾害预警预报、应急管理、风险控制与管理提供必要的科学支撑。因此，亟须将冰湖溃决灾害的自然与社会风险视为一个整体系统，利用灾害管理学理论，对冰湖溃决灾害进行全过程风险评价、控制与管理。

冰湖溃决灾害综合风险评估是对尚未发生的冰湖溃决承灾区损失的可能性评定和预估，以往冰湖溃决灾害研究多集中于冰湖溃决机理及其溃决风险（危险性）评估方面，而承灾区暴露要素脆弱性评估及其风险管理研究则很少被纳入其综合风险评估之中，而冰湖溃决灾害往往是由这些因素共同决定的（王世金等，2012）。目前，还未形成一套冰湖溃决灾害综合风险评估、区划与管理的方法体系，这不仅是冰冻圈变化影响研究的主要方向，更是本书着重研究的重要内容和解决的关键性科学问题。针对目前中国喜马拉雅山区众多的潜在危险性冰碛湖，借助现代遥感技术和实地调研，通过合理选取冰湖溃决灾害综合风险评价因子，应用一定数理统计方法，

对其冰湖溃决灾害综合风险程度进行系统评估,可为喜马拉雅山区冰湖溃决灾害防灾减灾规划和适应性管理提供理论支撑。本书对冰湖溃决灾害综合风险的评估研究,不仅完善了冰湖溃决灾害预警(预防)、排险、应急、救灾、恢复和适应一体化的风险管理体系,而且将有效加强和提高承灾区公众对冰湖溃决灾害风险的认知水平。另外,本研究对于其他中高纬度冰湖溃决灾害综合风险评估及其冰冻圈其他灾种综合风险评估与适应性管理机制的建立,也具有重要的理论参考价值。

因此,科学合理地评估冰湖溃决灾害综合风险,提出适宜而具有前瞻性的风险管理及适应性管理措施,不仅可以规避和减轻冰湖溃决灾害对山区经济社会系统的影响程度,而且可以提高山区冰湖溃决灾害风险分析水平、成功进行灾害保险、逐渐增强防灾减灾及风险管理能力。本书研究成果不仅是保障山区基础设施安全、指导山区土地与城镇规划、制订防灾减灾规划的必要保障和基础,而且直接关系到喜马拉雅山区经济社会可持续发展,更是国家解决该区域环境风险问题的迫切需要。

第三节 冰湖溃决风险研究进展

冰湖溃决灾害风险评估研究已成为冰冻圈科学研究的重要领域,国内外政界、学界和非政府组织对冰湖溃决灾害风险倍加关注和重视。特别地,在冰湖编目、冰湖变化、冰湖溃决及其次生灾害的形成、机制、危险性评价及预测等研究方面加强重视,并取得了重要进展和较大成果。

一 冰湖分类、编目及其监测研究

冰湖有多种,涉及现代冰川本身的有冰面湖、冰内湖(水体)、冰坝湖(主谷冰川堵塞支谷沟口成湖,支冰川堵塞主谷成湖)(沈永平,2004)。涉及现代冰川退缩的有冰川终碛湖、冰蚀槽谷—冰碛湖、冰斗湖和侧碛阻塞支谷湖等。Liu and Sharma(1988)基于大比例尺地形图,将冰湖分为冰碛阻塞湖、冰斗湖、槽谷湖、冰蚀湖和冰川阻塞湖5个基本类型。Chen等(2007)将冰湖分为冰川终碛阻塞湖(冰碛湖)、冰斗湖、槽谷湖、冰蚀湖和侧碛阻塞湖5类。王欣等(2010)将冰湖分为7个主要类型,包括冰碛