



中国石窟

岩体病害治理技术

□ 李文军 王逢睿 著

兰州大学出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS





中国石窟

岩体病害

治理技术

□ 李文军 王逢睿 著

中铁西北科学研究院
甘肃铁科地质灾害防治技术工程公司
基金资助

兰州大学出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS



图书在版编目(CIP)数据

中国石窟岩体病害治理技术/李文军,王逢睿著.

兰州:兰州大学出版社,2006.3

ISBN 7-311-02738-1

I. 中... II. ①李...②王... III. 石窟—岩体—病害—防治—中国 IV. K879.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 015570 号

中国石窟岩体病害治理技术

李文军 王逢睿 著

兰州大学出版社出版发行

兰州市天水南路 222 号 电话:8912613 邮编:730000

E-mail:press@onbook.com.cn

http://www.onbook.com.cn

兰州大学出版社激光照排中心照排

兰州人民印刷厂印刷

开本:850×1168 1/16

印张:14

2006年3月第1版

2006年3月第1次印刷

字数:390千字

印数:1~1000册

ISBN7-311-02738-1/T·172

定价:120.00元

作者简介

李文军,副研究员,男,汉族,1967年1月出生,山东省阳谷县人,1987年毕业于西南交通大学航地系工程地质专业。曾先后在铁道部第一勘察设计院、铁道部工程质量监督总站青藏铁路监督站、中铁西北科学研究院(前铁道部科学研究院西北分院)工作,历任中铁西北科学研究院科技开发办副主任、总工程师办公室主任等职。



作者近20年来一直从事文物保护、石窟岩体病害治理、滑坡防治及岩土锚固技术的研究和工程实践工作,主持和参加了20多处国家重点文物保护单位的石窟病害治理工程和其他文物保护工程的勘察、设计、施工和咨询工作,其中主持的兰州市烈士陵园纪念馆纠偏加固技术作为《古塔及塔式建筑物可控精确纠偏加固技术》的组成部分获得2004年度甘肃省科技进步一等奖,《坡体病害地段隧道变形机理及其防治技术》获得2002年度中铁工程总公司科学技术三等奖。

同时作者在1987—2005年间还主持和参加了铁路、公路、水电等系统的30多处滑坡治理及边坡锚固工程的咨询、勘察、设计和施工工作,主持和参加了兰新铁路复线、宝中铁路、广梅汕铁路、盐田港铁路专用线、肖柳铁路线、包兰铁路复线等10多条铁路建设的工程地质勘察及设计工作和国家重点建设项目青藏铁路建设的质量监督工作。

撰写发表有关文物保护、石窟岩体病害治理、滑坡研究及防治、青藏铁路冻土研究等方面的学术论文20余篇。

王逢睿,工程师,男,汉族,1977年出生于甘肃兰州,1998年毕业于西南交通大学铁道工程专业,毕业后进入中铁西北科学研究院工作。



从业7年以来,主要从事石窟寺保护与加固工程的设计与施工,发表论文3篇。其负责并完成的全国重点文物保护单位的文物保护工程在业内颇受好评,如甘肃庆阳北石窟寺危岩体抢险加固及渗水治理工程、敦煌莫高窟北区岩体加固工程、张掖马蹄北寺岩体加固工程等。其中《敦煌莫高窟北区危岩体加固治理工程施工图设计、施工图预算》获2004年度甘肃省地质灾害防治成果二等奖。

序 一

“长江后浪推前浪”、“雏凤清于老风声”!

中铁西北科学研究院的两位青年学者李文军、王逢睿编写了《中国石窟岩体病害治理技术》一书,令人高兴。他们请我为此书写序,我答应了。虽然我对石窟岩体加固知之不多,从1992年加固榆林窟才开始有所接触的。

中铁西北科学研究院多年来对我国10多个国家重点保护的石窟、古墓室及古建筑群的岩体病害进行了勘测、设计和治理,积累了丰富的经验,成绩卓著,在文物界享有盛誉。从安西榆林窟危岩体加固工程开始,他们首先把预应力锚固技术引进到我国石窟危岩体加固工程上,改变了自上世纪五六十年代以来用笨重的混凝土和砖石砌体加固石窟,严重影响石窟原貌和自然景观的状况,并且一步一个台阶,在甘肃省永靖县炳灵寺石窟、庆阳北石窟寺与敦煌莫高窟北区石窟危岩体加固工程中,设计了压力型锚索,采用了孔底扩大、孔底设机械内锚头等多项先进的复合锚固技术;结合石窟岩体病害的特点,创造了高频轻震的锚索孔施工工艺和反向压浆的灌浆工艺。该书对此进行了系统科学的总结,并提出了一些新观点、新理论。例如,大型石窟窟顶破坏的规律,加固薄板型危岩体时,除了考虑平衡外荷载外,还应考虑均衡受力问题的论述;布设泄水洞的空间位置时,应充分考虑到不管是垂直崖面的构造裂隙还是平行崖面的卸荷裂隙,均越靠近临空面下延伸度越大;窟前盲沟排水工程,不仅可遏制毛细水的危害,而且还可以减少窟内湿度、降低潮湿程度和凝结水的危害等论点,都给人以启迪,使人耳目一新。我到过不少国家,看到过一些石窟病害治理的资料,与这些国家相比,我们并不逊色。

该书还根据石窟的工程地质特征和石窟所处的地理位置,对石窟的各种病害,特别是岩体病害机理及产生原因进行了详细分类和分析,对不同病害的定义,作了界定;对各种病害的治理措施作了详细介绍,这对我国的石窟保护是非常有益的。

这本书还给我留下了一个突出的印象,就是内容丰富,图文并茂,对自己的技术不加保留,真心贡献给我国的文物保护事业,读后你能从中实实在在地学到东西,而不是一头雾水。书如其人,反映了作者和中铁西北科学研究院严谨治学的风格,值得称道。

敦煌研究院院长、研究员

樊锦诗

2005年10月于敦煌莫高窟

序 二

文物部门与铁道部门打交道已有40余年的历史。最早是上世纪60年代初由铁道部第一勘察设计院和铁路工程局保护莫高窟的挡墙与栈道工程开始,至今这些附属建筑还在为保护和展示这颗世界文化遗产的灿烂明珠服役着。然后相继投入的是铁道部科学研究院西北分院、西南分院、铁道部第四勘察设计院等单位。他们为世界文化遗产大足石刻、乐山大佛、云冈石窟、龙门石窟和全国重点文物保护单位麦积山石窟、榆林窟、炳灵寺石窟、北石窟寺、天梯山、马蹄寺等大型重要石窟群以及古墓葬、古建筑群的保护,进行过勘察、设计、施工和研究,完成了许多卓有成效的抢险加固保护工程,在我国的文物保护工程,尤其是石窟保护工程史上,是很有建树的。中铁西北科学研究院(原铁道部科学研究院西北分院)在近10多年来,通过与文物部门的不断交流、研讨、磨合,已经成为我国石窟、文物建筑的岩体加固保护工程中一支不可忽视的主力军。

两位从事铁路、隧道的滑坡、岩体工程治理的年轻技术人员,能在实践过程中,不断总结经验,对资料进行科学的归纳、整理,写出近40万字的著作,令人敬佩。当然,书中总结出的不少治理石窟岩体病害的技术,代表了中铁西北科学研究院一大批新老工程技术人员的心得,经过多年的实际考验,证明是有效的、科学的。尤其值得重视的是书中选出的14个工程实例,体现出在整个勘察、设计、施工过程中,能严格按规范、程序进行,做到一丝不苟,经得起检查和时间考验。当然也有宝贵的教训。

通过我国石窟保护50多年的实践,我们认识到,石窟保存修复的理念与技术,它涉及到石窟的价值评估、保存现状、文物环境的评估、建筑考古成果、保护理念与原则、各种保护技术(包括优秀的传统技术与现代技术的结合)、多学科介入及沟通交流、治理效果的检测与长期监测等问题。

保护理念与保护技术是紧密相关的。理念是以主观认识为基础的,它不是一成不变的,而是不断发展变化的过程,只有在正确的理念指导下,保护技术才能有效地保存、修复好石窟。随着科技进步,也在不断地促进文物保护技术的发展,因此要理性地评价以往的保护技术。通过这50多年的大量实践,多数人已对保护石窟的真实性与完整性、动态保护的观念、重视保护程序和档案记录及同时保护所依存的环境等观念,有了清醒的认识,并在努力贯彻执行。我们还应研究石窟寺的营造技术,它对石窟的保护有重要意义。石窟兴衰的历史,营造技术的变迁,证明了文化的多样性、持续性,科学与艺术相结合的石窟营造传统技艺,又是我们要继承和发扬的。通过研究石窟寺佛教文化的传播,增进了人类的相互交流与尊重,以保护共同的文明。因此,价值评估是石窟保护的依据。

由于石窟的石质、所处环境的差异,病害众多,治理方法涉及的面广,还有一些是其他领域未研究过的课题。如石雕的风化,要研究其表面几个厘米甚至几毫米的微观变化;石窟渗水途径,要求准确判断其具体通道;水岩作用造成石质风化变异及盐类的运移;石雕风化深度与程度的检

测方法,以及治理效果的无损检测等等;都使我们认识到,保存、修复石窟的任务还任重道远。当前需要我们重点研究或突破的问题有:石窟治水仍是普遍而持久的难题,前期的勘察、研究是成败的关键,要有多次治理的思想准备,因为水是活动变化的;石雕防风化的研究,既迫切但又谨慎之又慎。尽量少在文物上附加东西,除非已到濒临消失的地步。要重视现场试验及施工工艺;始终注意石窟保护中的科学性和严肃性。要加强长期监测工作和档案记录;重视保护效果的检测,尤其是无损检测的手段。

2

之所以要写上述内容,无非是想引起社会各界关心和支持文化遗产保护之有识之士的兴趣,欢迎他们能投入到这个光彩的事业中来,能与文物保护工作者共同攻克难关。文物部门需要社会各界多学科的支持和合作,才能使我国丰富多彩的文化遗产得以延年益寿,为我们的子孙后代留下这份厚重的珍贵遗产。

最后还要说一点本书的不足之处:限于作者仅对其涉及的10余处石窟、古建筑群的病害进行了分类。因此在石窟与病害类型及影响因素的阐述中,存在一定的片面性,尚不能完全代表中国100多处石窟存在的问题,相信随着作者更多的实践探索,会逐步弥补此不足。

中国文物研究所副所长、高级工程师

黄克忠

乙酉年十月写于北京寓所

前言

中华民族在 5000 多年的文明发展历史中创造了灿烂辉煌的文化艺术成就,石窟艺术是其中重要的组成部分之一。中国佛教石窟艺术源于印度,后经西域东传进入中国内地,它反映了佛教思想及其发生、发展的过程,是为当时信佛的人们服务的。虽然信仰佛教的各阶级和各阶层人物不同,所属的佛教宗派也不一样,因而在石窟造像与壁画的题材上,也反映的是本宗派的经典造像,但它所创造的佛、菩萨、罗汉、护法、佛本行和佛本生的各种故事形象以及各石窟的供养人像等,却都是通过具体人的生活形象创造出来的,因此它反映了各历史时期、各民族和各阶层人物的生活景象,为研究当时社会的政治、经济、军事和民族等各个方面提供了很好的佐证。例如莫高窟第 156 号窟的《张议潮出行图》、第 100 号窟的《曹议金出行图》和第 61 号窟的于阗国王像和曹氏家族的人像,就反映了当时封建统治者的豪华生活画面;克孜尔、库木吐喇和柏孜克里克等石窟内的供养人像,所反映的则是新疆古代少数民族的贵族和武士的形象;莫高窟第 232 号窟内“三宝感通变相”中的《纤夫图》和第 60 号窟内《五台山图》中的行旅与旅店中人物的各种劳作图,则又描绘了当时劳动人民的劳动形象。

中国的石窟艺术在 2000 多年的发展过程中不仅融合了古印度、古波斯和西域的特点,而且形成了禅宗、密宗并存及释、道、儒三教相结合的艺术形式,具有鲜明的自身民族特色,其内容和形式十分丰富,具有极高的艺术价值、历史价值和科学价值,其辉煌的艺术成就为世界所瞩目,它是中华民族文化和传统的象征,是古代中国人民对世界文化艺术做出的最伟大的贡献之一。

中国石窟历经千百年的漫长岁月,由于受到自然营力的长期作用和人类活动的影响,使绝大多数石窟岩体、壁画、石雕和塑像等遭到不同程度的破坏,不少石窟已是一派荒凉破败、伤痕累累的景象。1949 年新中国成立后,国家非常重视对石窟文物的保护工作,各级政府拨款对一些重点石窟寺进行了抢救维修,取得了巨大成绩。尤其是近 20 年来随着《中华人民共和国文物保护法》、《文物保护法实施细则》、《文物保护工程管理办法》及《纪念建筑、古建筑、石窟寺修缮工程管理办法》等一大批法律法规的颁布实施,国家从法律、舆论和财力、物力等多方面加大了文物保护的力度。在国家文物局的领导组织和支持下,中铁西北科学研究院以李传珠研究员为首的科研和工程技术人员,对石窟保护和病害的治理进行了大量卓有成效的研究工作,并结合文物保护的特点,将工程地质学、地质力学、滑坡学和岩土工程学等学科的一些成熟理论和技术引进到了文物保护中,将危岩体和滑坡计算的理论和防治技术、锚固理论和技术应用于石窟文物保护治理工程中,已在全国多个石窟岩体病害治理工程中成功推广应用,积累了许多宝贵的经验,为文物保护事业做出了突出的贡献,也为本书提供了丰富的素材。

作者 10 多年来一直从事文物保护、滑坡防治和岩土锚固技术的研究及工程实践工作,在 1992—2005 年间主持和参加了全国 10 多处石窟病害治理的勘察、设计和施工工作,其中全国重点文物 12 处,分别为:甘肃省安西县榆林窟岩体加固渗水治理和栈道工程、甘肃省安西县榆林石窟群东千佛洞岩体病害治理工程、甘肃省永靖县炳灵寺石窟岩体加固渗水治理工程、甘肃省敦煌莫高窟北区危岩体加固治理工程、山西省大同云冈石窟防水保护工程、甘肃省庆阳北石窟寺危岩体抢险加固和渗水治理工程、甘肃省张掖马蹄北寺石窟病害治理工程、甘肃省武威天梯山石窟加固治理工程、四川省广元皇泽寺石窟滑坡病害治理工程、江苏省徐州龟山汉墓渗水治理保护工程、贵州省镇远青龙洞古建筑群岩体病害治理工程、徐州狮子山楚王陵岩体加固工程;省级重点文物 3 处为:甘肃省靖远寺儿湾石窟渗水治理工程、甘肃省玉门昌马石窟病害治理工程、肃北五个庙石窟岩体加固工程。在此期间还主持参加了山东省蓬莱阁丹崖山岩体加固工程和兰州市烈

士陵园纪念塔纠偏加固工程(其中兰州市烈士陵园纪念塔纠偏加固技术作为《古塔及塔式建筑物可控精确纠偏加固技术》的组成部分获得2004年度甘肃省科技进步一等奖)的勘察、设计和施工工作,参加了兰州市庄严寺搬迁方案、甘肃省泾川南石窟寺治理工程、甘肃省临夏拉布楞寺藏经殿地基下沉治理工程、天水麦积山石窟治水工程、福建三明万寿岩古人类遗址船帆洞渗漏水治理工程等的咨询、方案论证会和鉴定会;同时作者在1987—2005年间还主持和参加了铁路、公路、水电等系统的30多处滑坡治理和边坡锚固工程的咨询、勘察、设计及施工工作。因此有机会对我国石窟、文物的保护技术和现状、滑坡防治技术和锚固理论及技术进行了有益的探索,积累了一定的实践经验,收集了较多的资料。本书旨在将工程地质学、地质力学、滑坡学和岩土工程学等学科的技术理论与石窟岩体病害治理技术有机地相结合,并对作者在探索实践中取得的经验和教训进行总结,以供从事石窟保护工作者借鉴。

关于本专著中石窟类型的划分需要说明的一个问题是:在文物学和古建筑学的划分中,石窟、古墓室、寺院和古建筑群均属于古建筑的范畴,古墓室、寺院和古建筑群并不属于石窟的范畴。但在本书中作者之所以将石质古墓室、寺院和少数古建筑群石质载体收集到本书内,并将石质古墓室、寺院和古建筑群石质载体三种形式简单划归石窟类,是基于以下几种原因的考虑:原因一,石质古墓室、岩洞的危岩体和渗水病害类型和机理与石窟危岩体和渗水病害类型和机理极为相似,治理技术措施有异曲同工之处,例如徐州龟山汉墓和福建三明万寿岩古人类遗址船帆洞渗漏水治理工程、徐州楚王陵和贵州省镇远青龙洞古建筑群岩体加固工程与常见的石窟渗水和危岩体加固十分相似;原因二,古建筑群(尤其是南方古建筑群)石质载体——不稳定坡体或危岩体锚固力计算不但基本上与石窟相同,而且裂隙水冻胀力劈裂作用、静水压力、卸荷裂隙处树木的破坏作用等附加力的作用虽然在北方石窟加固中很少考虑,但在南方石窟危岩体锚固力计算中却是常常需要考虑的,甚至是不可遗漏的,具有典型性和独特性;原因三,由于地质条件的改变、地下采空和开采放炮震动等原因引起坡体变形导致上部石窟、寺院和古建筑群等文物损坏的现象普遍存在,例如北京戒台寺因历年地下采煤、采矿活动和矿山采石放炮震动的影响,导致地面塌陷,产生滑坡,寺院内地面出现裂缝、沉陷,古建筑物变形,有的甚至落架待修,国家不得不投入巨资进行治理。而坐落有文物的滑坡体的治理措施又不同于一般的滑坡治理,由于文物的不可再生性,工程实施必须保证文物的绝对安全,对坡体的变形有非常严格的限制,而且工程设置要与环境景观协调一致,在疏排地下水和裂缝灌浆时要十分谨慎,详细论证,既不能影响林木的生长等,又要保持文物区的原貌和生态环境。所以这类滑坡的治理措施与普通的滑坡治理措施有较大的差别,在文物加固领域内具有广泛的代表性。基于以上三方面的原因,作者将上述典型的石质古墓室、寺院和古建筑群石质载体的病害类型和治理措施在本书中也进行了详细的论证。

本专著各章执笔人是:李文军:1、2、3、4、7、9、13、14、15、16、17章;李文军、王逢睿:5、6、8章;王逢睿:10、11、12章。

在本专著的成书过程中,聘请甘肃省文物保护专家组专家、中铁西北科学研究院李传珠研究员做技术顾问对全书进行了审校,并提出了许多宝贵的修改补充意见,在此特别予以感谢。同时,在写作过程中还得到了甘肃省文物局、中国文物研究所、中铁西北科学研究院的领导和专家们的大力支持和帮助,得到了王应先院长、谌壮丽研究员、牛怀俊研究员、马惠民研究员、方建生研究员、侯殿英研究员、王锡来研究员、郑兰生处长、王孟良副研究员、刘伟亚、赵津兰、路海滨等专家和同事的大力帮助。特别是著名文物保护专家、敦煌研究院樊锦诗院长、中国文物研究所的黄克忠先生在百忙中欣然提笔作序,为本书添彩甚多。书中引用了中铁西北科学研究院、中国文物研究所、敦煌研究院和国内外许多学者的研究成果和资料。本书出版得到中铁西北科学研究院和甘肃铁科地质灾害防治技术工程公司经费资助,在此对所有有关人员和支持本书出版的同志表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中难免有疏漏和错误出现,敬请读者批评指正。

作者

2005年10月

目 录

第一部分 总论

第一章 绪论

- 一、中国主要石窟的分布概况/1
- 二、中国石窟的艺术价值/1
- 三、中国石窟寺保护状况/2

第二章 石窟岩体病害的类型、影响因素及勘察要点

- 一、石窟的类型/4
- 二、石窟区的自然地理特征/4
- 三、石窟区的工程地质特征/5
- 四、石窟岩体病害类型和影响因素/7
- 五、勘察要点/19

第三章 石窟岩体病害的治理措施

- 一、治理原则/20
- 二、治理措施/21
- 三、结束语/60

第二部分 工程实例

第四章 甘肃省安西县榆林窟岩体加固渗水治理及栈道工程

- 一、概况/61
- 二、窟区的地形地质条件/62
- 三、地震烈度和水文气象条件/63
- 四、主要病害/64
- 五、治理原则/67
- 六、锚固试验/67
- 七、加固工程和栈道设计/70
- 八、施工技术/76
- 九、结束语/78

第五章 甘肃省敦煌莫高窟北区岩体加固治理工程

- 一、概况/81
- 二、自然地理特征和地质特征/82

三、窟区主要病害和成因分析/83

四、治理原则/85

五、主要工程治理措施/85

六、结束语/91

第六章 甘肃省永靖县炳灵寺石窟岩体加固和渗水治理工程

- 一、概况/95
- 二、地质构造、工程地质和水文地质条件/96
- 三、岩体病害类型及机理分析/97
- 四、治理原则/102
- 五、治理措施/102
- 六、结束语/106

第七章 甘肃省永靖县炳灵寺大寺沟淤积及黄河水倒灌问题

- 一、概况/107
- 二、大寺沟淤积及黄河水倒灌问题的提出/107
- 三、大寺沟淤积不断抬高的原因/108
- 四、大寺沟淤积问题的分析和结论/108
- 五、刘家峡水库库水倒灌问题/110
- 六、结束语/110

第八章 甘肃省庆阳北石窟寺危岩体抢险加固及渗水治理工程

- 一、概况/111
- 二、地层岩性和水文地质特征/111
- 三、石窟的主要病害/113
- 四、治理原则/117
- 五、岩体加固及渗水治理工程措施/118
- 六、结束语/128

第九章 甘肃省武威天梯山石窟加固治理工程

- 一、概况/134

- 二、环境特征/134
- 三、工程地质条件/135
- 四、岩体病害分析/135
- 五、治理措施/135
- 六、治理加固工程中采用的新技术、新工艺及施工机械的选用/137
- 七、结束语/138

第十章 甘肃省张掖马蹄寺石窟群北寺岩体加固工程

- 一、概况/139
- 二、地形地貌、地震和气候条件/139
- 三、地质构造和地层岩性/140
- 四、主要病害及其成因/142
- 五、加固工程措施/144
- 六、结束语/150

第十一章 甘肃省安西县榆林石窟群东千佛洞岩体病害治理工程

- 一、概况/153
- 二、地形地貌和气候条件/153
- 三、地质构造和地层岩性/154
- 四、主要病害及其成因/155
- 五、治理措施/156
- 六、结束语/158

第十二章 甘肃省玉门昌马石窟岩体病害及治理方案

- 一、概况/159
- 二、工程地质条件/159
- 三、水文地质条件/161
- 四、主要病害及其原因/161
- 五、治理措施/161
- 六、结束语/163

第十三章 四川省广元市皇泽寺石窟滑坡病害治理工程

- 一、概况/164
- 二、工程地质条件/164
- 三、岩体病害分析/165

四、治理措施/166

五、结束语/170

第十四章 山西省云冈石窟防水治理工程方案设计

- 一、概况/171
- 二、环境和地质条件/171
- 三、主要病害类型及原因分析/173
- 四、防水治理工程设计思路/177
- 五、结束语/179

第十五章 甘肃省靖远县寺儿湾石窟渗水治理工程

- 一、概况/180
- 二、工程地质条件/180
- 三、窟内渗水病害产生的原因/180
- 四、治理原则/182
- 五、治理措施/182
- 六、结束语/183

第十六章 江苏省徐州市龟山汉墓渗水治理工程

- 一、概况/185
- 二、自然地理特征/185
- 三、工程地质和水文地质特征/186
- 四、龟山汉墓病害类型/188
- 五、治理措施/190
- 六、结束语/193

第十七章 贵州省镇远县青龙洞古建筑群保护工程

- 一、概况/194
- 二、青龙洞古建筑群地层岩性、地质构造/195
- 三、青龙洞危岩体变形特征及其对建筑物的影响/197
- 四、危岩体加固治理措施/204
- 五、排水设施及悬空处砌石支顶/212
- 六、结束语/212

参考文献/213

第1部分

总论

第一章 绪论

一、中国主要石窟的分布概况

中国的石窟寺是历代人们进行以佛教为主的宗教活动的场所,大约始凿于公元3世纪,目前已发现的全国石窟最早的题记“西秦建弘元年”(公元420年)位于甘肃省永靖县炳灵寺石窟169号窟;石窟开凿盛行于5—10世纪,即南北朝、隋朝、唐朝、宋朝,16世纪以后开凿的石窟数量较少。我国的石窟艺术源远流长,分布广阔。就其分布而论,新疆有南疆拜城克孜尔石窟、库木吐喇千佛洞、焉耆以及吐鲁番等地的石窟;甘肃有敦煌莫高窟、安西榆林石窟群、玉门昌马石窟、张掖马蹄寺石窟群、武威天梯山石窟、永靖炳灵寺石窟、天水麦积山石窟、庆阳北石窟寺、泾川南石窟及西王母石窟、肃北五个庙石窟等;宁夏有固原石窟寺;陕西有耀县、郿县、麟游和延安等地的石窟;山西有大同云冈石窟、太原天龙山石窟等;河南有龙门石窟、巩县石窟寺,以及浍池、安阳、汤阴、沁阳、浚县和陕县等地的石窟;河北有南北响堂山石窟、隆尧、宣化等地的石窟;山东有济南附近及益都、曲阜等地的石窟;四川和重庆有广元千佛崖石窟、皇泽寺石窟和大足石刻以及龙岗山、巴中、安岳、仁寿、乐山、夹江、通江等地的石窟;浙江杭州、江苏南京栖霞寺和徐州、辽宁义县、内蒙古赤峰、云南剑川、狮子关等地均有石窟寺文物的存在,可以说在西起昆仑,东至东海,北达幽燕,南抵吴越的广大区域内,到处都有石窟的开凿,石窟艺术遍及全国。现存石窟主要分布在新疆地区(古代的西域)、甘肃西部(古代河西地区)、黄河流域和长江流域地区,南方仅有零星分布。

二、中国石窟的艺术价值

中国佛教石窟的内容十分丰富,具有极高的艺术价值、历史价值和科学价值,其辉煌的艺术成就,为世界所瞩目,它是中华民族文化和传统的象征,是古代中国人民对世界文化艺术做出的最伟大的贡献之一。

举世闻名的敦煌莫高窟,既是佛教东传的特定产物,又是中原汉文化在西部集中展示的前沿窗口,它体现了东西两种文化的交融,以独特的地位完成了汇集东西两端佛教石窟艺术体系的重大使命。莫高窟始建于前秦建元二年(公元366年),距今已有1600多年的历史,现存石窟492个,内有壁画约45000m²,彩塑2000余尊,是当今世界上现存规模宏大、内容丰富、艺术精湛的佛教艺术宝库,在中国文化史和世界文化史上占有重要的地位。1961年被国务院批准为全国重点文物保护单位,1987年被联合国教科文组织列入《世界文化遗产名录》。

甘肃省永靖县炳灵寺石窟始建于十六国时期的西秦建弘元年(公元420年),距今已有近1600年的历史,现存窟龕216个,大小石雕和泥塑造像近800尊,壁画约1000m²。其中最重要也最有价值的169号窟有建弘元年(公元420年)墨书题记,是我国石窟中有明确纪年的最早题记,不仅对炳灵寺石窟的建造年代提供了可靠的依据,同时对全国其他石窟的断代也具有重要的参考价值。1961年被国务院批准为全国重点文物保护单位。

山西省大同云冈石窟开凿于公元5世纪的北魏时期,现存石雕、塑像51000余尊,云冈石窟以其规模宏大、造像气势雄伟著称,其风格精细优美,丰富多彩,被誉为综合外来艺术与传统风格的雕塑展览馆,是我国乃至世界极具文物价值和艺术价值的珍贵文化遗产,被联合国教科文组织列入《世界文化遗产名录》。

四川省大足石刻,摩岩造像达50000多尊,宝顶山、北山的规模最大、刻像最集中、造型最精美,是唐宋时期石刻艺术的代表作,同时也是中国晚期石窟艺术的优秀代表作品,建于公元1179—1249年间,历时70年,沿岩壁开凿,长500m,其中尤以举世无双的千手观音和长达31m的卧佛著称。大足石刻不仅有规模宏大的佛像雕刻群,还有道教和儒家塑像群,这在中国早期各朝代石窟群中是罕见的。大足石刻以宏大的规模、精湛的技术、丰富的内容和卓越的技巧蜚声中外。大足石刻已被联合国教科文组织列入《世界文化遗产名录》。

甘肃省庆阳北石窟寺创建于北魏永平年间,历经北魏、北周、隋、唐各朝代不断扩建,现存窟龕295个,佛教造像2000余尊。北石窟寺千姿百态的石雕艺术代表了甘肃陇东地区汉唐文化的精华,也是古代中外文化交流的结晶,在中国古代石窟艺术中占有重要的地位。

甘肃省张掖马蹄寺石窟群始创于十六国北凉时期,历经各朝代开凿扩建,现保存有北魏、隋、唐、元、明、清各朝代的塑像、壁画等珍贵文物,是我国早期石窟链中的重要一环。尤其是3号窟,亦称“三十三天”洞窟,分布在高2~40m的崖体上,重重叠叠,立面上布局呈宝塔形,共7层21窟龕,十分壮观,是马蹄寺石窟群中的标志性建筑,窟内保存有石胎泥塑造像和壁画,造型优美,技艺精湛。7号窟,亦称藏佛殿,是马蹄寺最大的洞窟,纵深33.5m,宽21.3m,高15m,规模宏大,属国内罕见,窟内保存有元代藏传佛教造像21身和一部分壁画,十分珍贵,具有很高的艺术价值和历史价值。马蹄寺石窟为中华民族宝贵的文化遗产,1996年被国务院公布为第四批全国重点文物保护单位。

三、中国石窟寺保护状况

中国的石窟寺历经千百年的漫长岁月,由于受到自然营力(地震、河流冲刷、地下水侵蚀、大气降雨侵蚀、风蚀等)和人类活动(战乱、偷盗、火灾、烟熏火燎、采矿等)的长期作用,使绝大多数石窟岩体及壁画、石雕、塑像遭到不同程度的破坏。尤其是近几百年来,帝国主义列强入侵掠夺,战乱不绝,盗贼猖獗,不少石窟呈现一派荒凉破败、伤痕累累的景象。1949年新中国成立后,国家非常重视对文物的保护工作,各级政府陆续拨款对一些重点石窟寺进行了抢救维修,取得了巨大成绩。后在文革期间,不少珍贵文物再次遭到严重破坏。虽然近几十年来国家投入了大量的人力、物力进行研究保护,但随着国内经济建设的规模和空间日益增大及一些人文物保护意识的淡薄,自觉或不自觉地损害石窟文物的事件时有发生。例如甘肃省永靖县炳灵寺石窟,由于1967年刘家峡水库的修建,水库蓄水后改变了炳灵寺石窟区的局部小气候,使得岩体渗水病害增加、石刻风化加剧;甘肃省武威天梯山石窟由于修建黄羊水库而曾淹没大佛下半身;新疆库木吐喇石窟也受到水库的严重影响;甘肃省庆阳北石窟寺和天水麦积山石窟、河南省洛阳龙门石窟、北京市戒台寺等受采石放炮、水泥厂粉尘和地下采矿等诸多人类活动的影响,均对文物造成了难以挽回的不良影响。“文物不可再生”,对此应引起我们高度重视。今后在石窟文物附近兴建各种工程或进行其他工程活动时,应首先进行环境评价和文物保护评价,否则一旦对文物造成破坏,即使投入

再大的资金也是难以完全补救的。同时我国的洞窟文物由于长期受裂隙切割、危岩发育、渗水侵蚀和风化作用,部分洞窟已岌岌可危,有整体坍塌的趋势,如果不及时采取必要的措施进行保护,许多珍贵文物将会遭到致命的破坏,甚至可能毁于一旦,因此急需对存在的石窟病害从根本上进行治理。20世纪90年代后,随着综合国力和文物保护意识的增强以及旅游事业发展的需要,从根本上消除危及洞窟文物存在的重大隐患不但有了可能,而且更加迫切。国家近20年来从立法、宣传和财力、物力等多方面加大了对文物保护的投入力度,对石窟文物的岩体崩塌变形、渗水溶蚀和风沙侵蚀等多方面的病害进行了全面科学细致的调查分析和试验,并采取了多种技术措施,从根本上对石窟文物病害进行了综合治理,消除了部分石窟存在的隐患。

为了将珍贵的石窟及古建筑文化遗产很好地保存、传承下去,我国研究和保护文物的专家学者付出了艰辛的努力,做了大量的工作,做出了突出贡献。回顾半个多世纪以来,我国石窟及古建筑物的保护工作大致可分为三个阶段。

第一阶段为20世纪40—50年代。随着敦煌艺术研究所的成立,以常书鸿、段文杰、罗哲文等为代表的一大批文物工作者在极其艰苦的条件下,经过含辛茹苦的努力,使得几千年以来遭受破坏的石窟及古建筑恢复了基本原貌,并进行了有效的管理。

第二阶段为20世纪50—80年代。国家在财政十分困难的情况下拨出巨款,对敦煌莫高窟南区、云冈石窟、龙门石窟及大足石刻等多处全国重点文物进行了抢救性加固和地质勘察测绘,并在文化部的组织下召开了多次文物保护专家会议,揭开了中国应用现代科学技术保护石窟的序幕。

第三阶段为20世纪90年代至今。随着综合国力和文物保护意识的增强以及旅游发展的需要,国家近年来从包括立法在内及财力、物力等多方面进一步加大了对文物保护工作的力度,在国家文物局及国家各级文物保护机构的领导组织和支持下,中国文物研究所、敦煌研究院、中铁西北科学研究院、中国地质大学等多家机构的一大批科研、工程人员,对石窟保护和病害的治理进行了大量卓有成效的研究工作,结合文物保护的特点,将目前岩土工程界较为流行且成熟的新技术、新材料、新工艺应用于文物保护及病害治理工程中,对病害严重的部分石窟进行了综合性的病害治理,使珍贵的文化艺术遗产得到了切实有效的保护。

石窟文物的安全和稳定除了受其自身开凿岩体本身的物质组成、坡体结构和地质构造运动形成的断裂、节理裂隙以及地下水的赋存运移条件的影响外,还受其所处的地质环境例如所处山体的稳定性、窟区地震烈度、大气降雨、风沙侵蚀等诸多因素的影响,此外还有气候条件的改变、大气污染加剧、人类工程活动的增加等因素的影响,其病害的类型及形成机理各不相同,因此对石窟病害所采取的治理措施也各有侧重,不尽相同。

本书分为总论和工程实例两大部分。在总论部分,作者简要介绍了中国石窟的概况和保护历史,系统地论述了石窟区的自然地理特征、工程地质及水文地质特征,对石窟的岩体病害类型进行了分类定名,并对其形成机理进行了研究分析,将工程地质学、地质力学、滑坡学及岩土工程学等学科的一些成熟理论和技术引进到文物保护中,将危岩体和滑坡计算理论及防治技术、锚固理论及技术应用于文物保护治理工程中,对石窟的各种岩体病害治理提出了相应的治理方案和具体的治理措施;在工程实例部分,结合中铁西北科学研究院承担的全国10多处石窟岩体病害治理工程,对不同的石窟自然地理特征、工程地质及水文地质条件、岩性特征、主要岩体病害及产生机理进行了分析,并从文物保护和工程治理的角度对窟区岩体病害治理所采取的具体治理措施进行了综合细致的论述,介绍了我国石窟岩体病害治理的一些新理论、新技术和新材料,反映了我国石窟岩体病害治理技术已达到世界先进水平。

第二章 石窟岩体病害的类型、影响因素及勘察要点

一、石窟的类型

中国的石窟艺术源远流长,分布广阔,遍及全国,现存石窟主要分布在新疆地区(古代的西域)、甘肃西部(古代河西地区)、黄河流域和长江流域地区,其余地区仅有零星分布。

(一)按石窟开凿所在岩层的岩性种类划分

1.砂岩型石窟。石窟开凿在巨厚层、厚层砂岩或薄层砂岩地层中,以白垩系砂岩居多,为长石、石英砂岩,其间夹有少量泥岩或页岩薄夹层,以泥、钙质胶结为主,胶结物中常含蒙脱石、伊利石和高岭石,遇水易分解,属于较软岩,孔隙度大,吸水性强,抗风化能力低。据不完全统计,这类石窟在我国分布极为广泛,约占国内石窟总数的80%左右。本书中如甘肃省永靖县炳灵寺石窟、山西省大同云冈石窟、甘肃省张掖马蹄寺石窟、甘肃省庆阳北石窟寺、甘肃省靖远寺儿湾石窟、四川省广元皇泽寺石窟均属于此种岩石类型。

2.砾岩型石窟。石窟开凿在砾岩、砂砾岩、角砾岩或砾石层中。这类石窟主要分布在甘肃省河西走廊一带和新疆部分地区。本书中如甘肃省安西县榆林窟、敦煌莫高窟北区石窟、西千佛洞均开凿于第四系酒泉组砾石层中,以泥质胶结为主,产状平缓,层理发育,在干燥状态下岩体强度较高,但遇水强度迅速降低;甘肃省武威天梯山石窟开凿在成岩程度较低的第三系角砾岩地层中。

3.泥岩型石窟。泥岩型石窟在中国石窟中相对较少,本书中提及的仅有甘肃省安西县榆林石窟群东千佛洞部分石窟开凿在上第三系泥岩层中,甘肃省玉门昌马石窟开凿于下白垩统灰绿色泥岩层中。泥岩多夹于砂岩和砂砾岩之中,遇水易成软塑状,透水性较差,力学强度指标较低。

4.石灰岩型石窟(包括石质古墓室及古建筑群石质载体)。本书中提及的江苏省徐州龟山汉墓、徐州楚王陵、贵州省镇远青龙洞古建筑群和河北响堂寺石窟均开凿在石灰岩中或修建在石灰岩坡体上。

5.花岗岩型石窟。本书中提及的北京市延庆古崖居石窟就开凿在花岗岩体中。

(二)按地理位置和环境特征划分

1.北方石窟。本书中提及的北方石窟共15处,主要分布在甘肃省河西地区和东部及新疆,包括:甘肃省安西县榆林窟、甘肃省安西县榆林石窟群东千佛洞石窟、甘肃省永靖县炳灵寺石窟、甘肃省敦煌莫高窟北区石窟、山西省大同云冈石窟、甘肃省庆阳北石窟寺、甘肃省张掖马蹄寺石窟、甘肃省武威天梯山石窟、甘肃省玉门昌马石窟、甘肃省靖远寺儿湾石窟、甘肃省肃北五个庙石窟、新疆拜城克孜尔石窟和库木吐喇千佛洞、北京市戒台寺和北京市延庆古崖居石窟。

2.南方石窟(包括石质古墓室及部分古建筑群石质载体——以下同)。本书中提及的南方石窟共7处,主要分布在长江流域,包括:四川省广元皇泽寺石窟和千佛崖石窟、重庆大足石刻、江苏省徐州龟山汉墓和徐州楚王陵、贵州省镇远青龙洞古建筑群及福建省三明万寿岩古人类遗址船帆洞。

二、石窟区的自然地理特征

(一)北方石窟区的自然地理特征

北方石窟多开凿在河道(或古河道)两岸或中、低山及丘陵地带的崖壁上,洞窟多面向河道,

窟前地貌单元为河流下切侵蚀形成的河谷区和冲洪积阶地,河谷多为“U”字形或“V”字形,沟谷深切,崖面陡立,阶地较为平坦。大环境较为荒凉,但窟区环境多有山崖和河流,局部生态环境幽静,引人入胜,略带几分神秘色彩,这不仅为石窟开凿提供了必要的施工、生活基本条件,而且也以后在此长期从事宗教活动的人们提供了生存条件。

北方石窟区多属大陆性温带干旱、半干旱气候或中温带亚湿润气候,如甘肃省安西县榆林窟、安西县榆林石窟群东千佛洞石窟、甘肃省永靖县炳灵寺石窟、敦煌莫高窟北区石窟、山西省大同云冈石窟、甘肃省武威天梯山石窟、甘肃省玉门昌马石窟和甘肃省靖远寺儿湾石窟窟区均属于大陆性温带干旱、半干旱气候,甘肃省庆阳北石窟寺属于中温带亚湿润气候,仅有甘肃省武威天梯山石窟区属于高寒半干旱区。窟区多具有温差大、降雨量少且相对集中、蒸发量较大、气候干旱、风沙活动和风蚀作用强烈的气候特征。窟区年平均气温3~11℃,年最高气温高于20℃(如莫高窟北区年最高气温为40.6℃),年最低气温多低于-20℃,冬季寒冷,气温最冷月份为1—2月,最大冻结深度为1.2~2.5m,气温最高月份为7—9月。北方石窟区年平均降雨量多为25~400mm,少数窟区年平均降雨量可达500~600mm(如武威天梯山石窟区),年蒸发量多为1000mm以上,少数窟区(如莫高窟北区)最大年蒸发量可达3400mm以上,远远大于年平均降雨量。降雨主要集中在每年的夏季(6—9月),且多暴雨、洪水,降雨量较小,但近20年来随着全球气候变暖和人类工程活动增加等诸多因素的影响,降雨量有逐渐增大的趋势。

北方石窟区多处于河西走廊地震带、祁连山地震带、西海固地震带、中祁连北缘断裂带和阿尔金断裂带东断裂等多条地震带的边缘或交汇处,新构造活动明显,地震活动频繁且较为强烈。据1:400万《中国地震烈度区划图》划分,北方石窟区基本地震烈度为VI至VIII度。

另外需要说明的是,北方石窟区受风沙影响较大,例如新疆拜城克孜尔石窟、山西省大同云冈石窟、敦煌莫高窟等长期受到风沙侵蚀作用,雕像剥蚀严重;莫高窟南区需经常清扫窟前积沙,莫高窟北区有的底层洞窟在清理发掘前曾被积沙掩埋。敦煌地处塔里木盆地塔克拉玛干沙漠和巴丹吉林沙漠之间、祁连山和天山形成的瓶颈地带,东、西风至此风速变化较大,或增或减,造成沙害。为此,敦煌研究院与其他有关单位的科研人员,正在开展沙害防治的试验研究。

(二)南方石窟区的自然地理特征

南方石窟多开凿在河道两岸的中、低山及丘陵地带的崖壁上,依山傍水,风景秀丽,窟前地貌单元多为河流侵蚀切割形成的台阶状侵蚀性河谷地貌和冲洪积阶地,河谷开阔,崖面陡立,冲洪积阶地较为平坦,有多级阶地存在。其中贵州省镇远青龙洞古建筑群区岩溶地貌十分发育,溶洞、溶槽及石灰华、钟乳石堆积地貌类型都有发育,构成了石灰岩地区的特有的地形地貌形态。

南方石窟区属于亚热带湿润、半潮湿季风气候区,当地气候温和,光照适宜。区内多年平均降雨量为800~1000mm,最大年降雨量可超过1600mm,多年平均气温为16~25℃,多年平均相对湿度达50%~70%,历史日最大降雨量可达202.1mm(四川省广元皇泽寺窟区1962年7月27日记录),降雨多集中在夏季6—9月,常形成暴雨并引起山洪暴发,因而降雨、暴雨频繁,洪水是南方石窟区的灾害性气候特征。

据1:400万《中国地震烈度区划图》划分,南方石窟区基本地震烈度为VI至VII度。

三、石窟区的工程地质特征

(一)北方石窟区的工程地质特征

北方石窟多开凿在陆相、河湖相(少数为海滩—泻湖相——武威天梯山石窟区)的砂岩、砂砾岩、砾岩、砾石层、页岩或砂岩与砾岩互层、页岩与砂岩互层及花岗岩岩体中,局部多夹有少量半胶结的透镜体或薄层中细砂岩和泥岩,岩体上部主要为厚度不大的第三系泥岩、砂岩和第四系冲洪积层或

黄土、残坡积物。岩体斜层理及交错层理、节理裂隙发育且贯通性好,尤其是平行于崖面的卸荷裂隙发育。岩体表面风化严重,差异风化明显,坡面上多见风化凹槽和水蚀凹槽(如庆阳北石窟寺 165 号窟窟顶坍塌处可见到泥质砂岩夹层已风化成砂状,严重处已蚀空),崖面岩体稳定性差。岩体中地下水主要为基岩裂隙水,地下水以垂直运动和水平运动为主,其排泄方向为临空面(崖面)方向。

现将北方石窟区的各种地层分述如下:

1.砂岩。多为巨厚层构造,钙质或泥—粉砂质胶结。钙质胶结的砂岩岩质较为坚硬,单轴饱和抗压强度为 47.4~49.2MPa,为硬质岩,岩石的吸水率为 1.1%~1.3%,岩石的孔隙率为 6%;而泥—粉砂质胶结的砂岩岩质疏松,单轴饱和抗压强度为 9~17MPa,为软岩或较软岩,岩石的吸水率为 6%~11%,岩石的孔隙率为 27.5%~19.6%。岩石碎屑以石英为主(70%~80%),高岭土化长石约占 10%~20%,岩屑约占 5%,局部夹有石膏薄层和钙质结核。颗粒分选性好,磨圆度高,软弱层面结构及交错层理、斜层理发育,常见有多组交错层理。砂岩多具有软硬互层的特征,差异风化明显,抗风化能力低,风化面凹凸不平,岩体立面危岩发育。

北方石窟主要开凿在以泥质胶结为主的砂岩地层中,砂岩由碎屑和胶结物两部分组成,碎屑成分主要为石英、长石和岩屑,碎屑粒径以 0.08~0.12mm 占多数,其次是 0.12~0.15mm,碎屑分选性较好,磨圆度以次棱角状居多,少数次圆状,碎屑含量约占岩石总量的 85%;泥质胶结,含有少量方解石、鳞片状黑云母及绿泥石,泥质绝大多数围绕碎屑颗粒呈薄膜状分布,少部分充填在碎屑颗粒的孔隙间;矿物成分为石英 45%、长石 25%、岩屑 15%,泥质(包括方解石)大于 15%。岩体抗压强度较小,孔隙度大,吸水率大,抗风化能力弱。泥质胶结物中蒙脱石矿物含量相对较多,蒙脱石吸水易膨胀崩解,使得砂砾岩的泥质胶结物受到破坏,导致岩体风化,因此当空气湿度增大,或当湿度随气温而发生变化时,这种风化作用就会加剧,例如炳灵寺石窟随着 1967 年刘家峡水库的建成蓄水导致窟区局部小环境的改变,尤其是在一些有渗水出露的石窟中,这种风化破坏作用尤其严重。

2.砾岩。主要由石英、长石、岩屑组成,多为第三系晚期或第四系早期形成,也有白垩系砂岩,以砂质和泥质胶结为主,极少数为钙质胶结(例如榆林窟窟区河底玉门组砾岩时代归属虽说法不一,但确系钙质胶结的砾岩),泥质胶结程度较差,多属于基底——孔隙式胶结,层理多近水平。由于成岩较晚,成岩程度一般不高,其工程性质较差。

3.第四系砾石层。一般成岩程度较差(如酒泉组砾石层),为半成岩—未成岩状态,多为钙、泥质混合胶结,以泥质胶结为主,砾石成分复杂,粒径多在 4~15mm 之间,夹有大粒径卵石。层内可见小沉积韵律,局部夹贝壳,多夹中、细砂薄层和砂粘土夹层,薄夹层单层厚度 5~40cm 不等;砾石层层理清晰,产状平缓,岩性干燥、透水性极强、孔隙率大、松散,力学强度指标较低。

4.半胶结圆砾土。接触式胶接,胶结物为泥、钙质混合物。岩性干燥、透水性极强、孔隙率大、松散,力学强度指标较低,由于长期受雨水冲刷、风蚀的作用,其岩体崖顶呈斜坡状,坡度约 35°。半胶结圆砾土饱和和极限抗压强度一般为 8~14MPa,属软质岩。

5.透镜体状或薄层状半胶结砂层。其多夹于砾石层之间,泥、钙质胶结,遇水易崩解。室内土工试验结果:密度 1.95~1.96g/cm³,干抗压强度 2.4~2.6MPa,抗剪强度 $\varphi=28.3^\circ$, $C=0.01\text{MPa}$,其工程性质极差。

6.砂质页岩。为灰黑—黑色,或为灰褐、黄褐色,岩体中页理及节理裂隙发育,层厚可达 20~50cm。其多夹杂于砂岩和砂砾岩之中,为砂岩和砂砾岩岩体中的层间软弱带,岩质软弱,风化严重,与砂岩和砂砾岩相比较,风化明显。

7.泥岩。多为土黄色,局部呈灰绿色,多呈不整合接触下伏于砾石层之下或夹于砂岩、砾岩之间,多属内陆河湖相碎屑岩沉积。泥岩遇水易成软塑状,透水性较差,力学强度指标较低。泥岩夹层往往是岩体分级崩塌、滑移的分界面,例如庆阳北石窟寺泥岩夹层隔水,雨天层面有水渗出,在圣母宫洞窟附近以此为界分成两级崩塌滑移。