

桥梁加固与改造

蒙 云 编

重 庆 大 学 出 版 社

前 言

随着交通事业的发展,现有公路桥梁中有相当一部分已满足不了使用上的要求。桥梁的陈旧、老化、承载能力不足这一全球性的问题,引起了世界各国的高度重视,并提到了刻不容缓的议事日程上。迄今为止,在桥梁的加固改造方面,国内外都进行了大量的研究和实践,积累了不少宝贵的经验。为了适应大、中专路、桥专业师生及工程技术人员需要,在广泛收集和整理国内外桥梁加固改造资料的基础上,结合个人的看法,编写了本教材。

本书较为详细地介绍了各种公路桥梁常见的缺陷、病害及产生的原因;加固前的桥梁检查与承载能力评定方法;对目前国内采用的桥梁加固改造技术进行了重点介绍,并列举了部分典型的加固改造实例供学习和工作中的参考。

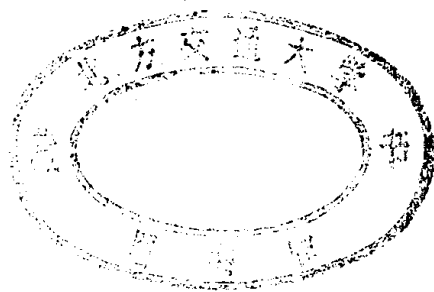
本书作为一本普及公路桥梁加固改造技术理论知识的书籍,可作为有关大专院校选修课的教材和一般桥梁工作者自学读物或职工业余学习教材,亦可作为桥梁设计、施工和养护管理工程技术人员工作中的参考。希望对学生和从事桥梁加固改造工作的同志能有所帮助。

本书编写过程中,周远棣教授不顾肺癌手术后的病痛,带病为本书审稿,并得到重庆交通学院结构工程系、教务处领导和师生的大力支持,特表示深深的谢意。

由于桥梁加固改造尚处于研究和发展中,尤其是限于编者的水平,书中不妥之处,请读者批评指正。

编 者

1988年元月



内 容 简 介

全世界数千万座桥梁，据统计已有一半左右不合要求，企图重建所有不合要求的桥梁是不可能的，合理的方案是对其中大部分桥梁进行加固与改造。本书详细介绍了桥梁质量与承载能力的评定；常见桥梁的缺陷、病害及产生的原因；各种桥梁的改造与加固的方案。并专章介绍了多座已被改造与加固的桥梁的典型实例。

本书适用于桥梁专业的师生，亦适用于从事公路与桥梁建设与维修的工程技术人员。

桥梁加固与改造

蒙 云 编

责任编辑 王建华

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

合川县人民印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：13.25 字数：331千

1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

印数：1—6000

标准书号： ISBN 7-5624-0212-4 定价：2.67元
U. 3

目 录

第一章 概述	1
第一节 国内外桥梁现状及桥梁加固改造的迫切性	1
第二节 桥梁加固改造的技术途径、设计原则及基本要求	3
第二章 桥梁常见缺陷及病害	6
第一节 承载能力不足	6
第二节 裂缝产生的原因及特性	8
第三节 墩台及其他病害	13
第三章 加固改造前的桥梁质量检查与承载能力的评定	15
第一节 桥梁检查	15
第二节 资料搜集	18
第三节 承载能力评定	19
第四节 桥梁测试与承载能力评定实例	30
第五节 分析判断与加固方案的确定	49
第四章 桥梁加固改造技术综述	50
第一节 裂缝修补	50
第二节 钢筋混凝土梁桥加固改造方法	61
第三节 拱式桥梁的加固改造	76
第四节 桥梁基础加固	89
第五章 桥梁加固改造实例介绍	97
第一节 用下撑式预应力拉杆加固青山桥	97
第二节 黄堡桥技术改造研究	119
第三节 粘贴玻璃钢加固巍山河桥	133
第四节 增加纵梁加固宁武桥	143
第五节 大开门桥的加固改造	146
第六节 用喷锚混凝土加固里八庄双曲拱桥	156
第七节 粘贴钢板等加固高大桥	167
第八节 云梦桥加固改造研究	175
第九节 用预应力高强钢索对拉桥台加固和平桥	183
第十节 改变结构体系加固改造南渡桥	192
第十一节 喷锚加固游渡河百米大跨石拱桥	201

第一章 概 述

第一节 国内外桥梁现状及 桥梁加固改造的迫切性

随着交通运输事业的发展, 交通运输量大幅度增长, 行车密度及车辆载重越来越大, 尤其是推行拖挂运输和集装箱运输后, 重型车辆日益增多。现有公路桥梁中有相当一部分(特别是修建年代已久的桥梁)已满足不了使用上的要求, 这是世界各国所面临的严峻问题。例如: 美国1981年统计共有公路桥梁566 000座, 曾调查了514 000座, 其中98 000座桥必须关闭交通, 降低使用标准或立即整修, 约占总数的20%; 102 000座桥功能老化, 桥面太窄或承载能力偏低, 约占总数的20%。其他国家亦面临同样的问题。桥梁的陈旧、老化、强度降低这一全球性的问题, 引起了世界各国的极大关注, 并提到了刻不容缓的议事日程上。现在, 世界范围内已出现了一个研究桥梁养护、维修、加固的热潮。由西方24个发达国家参加的联合国“经济合作与发展组织”(OECD)于1981年召开的“关于道路桥梁维修管理国际会议”, 1982年召开的“国际桥梁与结构会议”, 1983年召开的“第十七届国际道路会议”上, 很多国家就现有桥梁的安全性评价、检查与维修加固等方面, 提出了《桥梁检查》、《桥梁承载能力的鉴定》和《桥梁养护》等多篇有价值的论文报告。该“组织”还组织有关国家进一步开展这方面的研究工作。1980年在巴黎和布鲁塞尔、1982年在华盛顿都曾召开关于旧桥问题的国际专题讨论会。

在我国, 建国以来随着交通运输事业的发展, 不仅车辆数量急剧增加, 而且车辆重量显著增大。许多古代及旧中国遗留下来的老桥以及五、六十年代按旧标准修建的桥梁, 由于设计荷载标准低, 不少桥梁承载能力不足、宽度不够, 而且发生不同程度的破损。据1982年不完全统计, 我国有公路桥梁136 000座, 大部分是按1972年前部颁标准建造的。其中危桥4823座, 共12 788延米, 单是大、中桥, 汽-10标准及以下的就占8.6%, 近11.7万延米。以四川省为例, 全省现有公路95 592km, 公路桥梁14, 573座, 共416 011延米。其中大、中桥梁2873座, 229311.9延米。而汽-20、挂-100荷载等级以上的桥梁只有230座, 35060.5m, 仅占全省大中桥梁总数的8%, 远远跟不上交通发展的需要。详见表1-1。其它省、市、自治区的桥梁现状也大致如此, 必须引起我们高度的重视。在大型水电站、厂矿的建设中, 需要通行运输重型构件的大吨位车辆, 即使是近年来修建的桥梁, 有的也满足不了使用上的要求。对这些桥梁需要通过加固补强来提高设计承载能力。特别是对于修建年代久远、质量低、病害严重的老桥, 或因设计、施工以及使用上的种种原因存在不同缺陷的桥梁, 承载能力偏低, 已不能维持正常使用, 而采取限重、限速通行措施, 甚至不得不关闭交通的旧危桥梁, 需要进行加固补强, 使其恢复设计承载能力或提高其荷载标准。

对于上述两种不适应现代交通运输要求的旧桥, 如果拆除重建, 不仅资金耗费巨大, 而且在时间上也不允许。据四川省交通科研所统计, 仅四川的桥梁就价值20.24亿元, 不说全部重修, 就是50%重修也是无法办到的。即使在经济最发达的美国, 若将40%的桥梁推倒重建, 大约需要资金3000亿美元, 也是不可能实现的。因此, 如果能采取有效的加固改造措

四川省公路桥梁概况

(表1-1)

项目	全省总计		干线公路桥			县公路桥			乡公路桥			专用公路桥		密度		
	单位	数量	%	单位	数量	%	单位	数量	%	单位	数量	%	单位		数量	%
桥梁	m/座	416,011 14,573	100	m/座	85,149 2,332	20.47 16.00	m/座	193,727 6,947	46.57 47.67	m/座	125,450 4,867	30.16 33.40	m/座	11,685 427	2.80 2.93	4.35m km
永久性桥	m/座	401,131 13,738	96.42 94.27	m/座	83,878 2,301	20.16 15.79	m/座	187,739 6,605	45.13 45.32	m/座	119,595 4,521	28.75 31.02	m/座	9,919 311	2.38 2.13	6.56km 座
半永久性桥	m/座	9,934 472	2.39 3.24	m/座	1,236 27	0.30 0.19	m/座	4,672 242	1.12 1.66	m/座	3,047 144	0.73 1.00	m/座	979 59	0.23 0.40	0.153座 km
临时性桥	m/座	4,946 363	1.19 2.49	m/座	35 4	0.01 0.02	m/座	1,316 100	0.32 0.69	m/座	2,808 202	0.68 1.38	m/座	787 57	0.19 0.40	0.74m km ²
其中：大中性桥	m/座	229,311,9 2873	55.12 19.72	m/座	51,2403 508	12.32 3.49	m/座	178,071,6 2,365	42.80 16.23	注：县公路栏数量实为“县、乡、专”公路桥梁总和						
其中：1.梁桥	m/座	34,892,5 355	(15.22) 12.36	m/座	13,398,1 138	(26.15) 27.16	m/座	21,494.4 217	12.07 9.18	桥梁占有百分数是以“大中桥梁”为100计						
其中：2.拱桥	m/座	188,224,1 2498	(82.08) 86.95	m/座	32,569,9 357	(63.56) 70.28	m/座	155,654.2 2141	87.41 90.53	拱桥占有百分数是以“大中桥梁”为100计						
其中：3.其它桥	m/座	6,195,3 20	(2.70) 0.69	m/座	5,272,3 13	(10.29) 2.56	m/座	923.0 7	0.52 0.29	其它桥主要是吊、斜拉桥、T刚为100计						
其中：汽20以上桥梁	m/座	35,0605 230	(15.29) 8.0	m/座	18,2303 108	35.58 21.26	m/座	16,830.2 122	9.45 5.16	为大中桥梁中汽—20，挂—100以上标准桥梁						

注：本表根据四川省公路桥梁1980年普查资料+1981~1986年统计年报整理而得。

施，恢复和提高它们的承载能力，使其继续为现代交通运输服务，可以给国家带来巨大的经济效益。所以世界各国都把旧桥视为宝贵的财富，力求充分利用，或进行适当的维修和加固，延长其使用寿命，以满足交通运输发展的需要，据国外资料介绍，旧桥加固所用的资金仅是新建桥梁的10%左右。国内已有经验表明，一般情况下，桥梁和圯工拱桥的加固费用约为新建桥梁的10~20%，双曲拱桥的加固费用约为新建桥梁的20~30%左右，较重建新桥可以为国家节省大量的资金，经济效益十分显著。

我国近年来在旧桥加固改造技术的试验研究方面进行了大量的工作。交通部在“六、五计划”期间下达了有关旧桥测试、承载能力评定及加固等一些课题的科研任务。云南、四川、江苏、广东、福建、山西、陕西及其他省、市、自治区都在实践中取得了不少成功经验，并在实践中获得了显著的经济效益。随着交通运输的发展需要，旧桥加固改造必将成为桥梁工程中的一门新兴学科，这是毫无疑问的。

第二节 桥梁加固改造的技术途径、 设计原则及基本要求

一、目前桥梁加固改造的主要技术途径

桥梁加固一般是通过对构件的补强和结构性能的改善来恢复或提高现有桥梁的承载能力，以延长其使用年限，适应现代交通运输的要求。目前，国内外对桥梁进行加固改造的技术途径主要有下列五种：

1. 加强薄弱构件

对于桥梁上有严重缺陷或因通行重型车辆而不能满足安全承载要求的薄弱构件，通常是采取以新材料（喷射混凝土、混凝土、钢板、玻璃钢或钢筋）增大主梁或主拱圈截面；用高标号水泥砂浆或环氧树脂水泥砂浆封填裂缝；增设外部后张预应力筋，施加外部预应力，或用化学粘结剂粘贴附加构件的办法进行加固。

2. 增加辅助构件

当桥梁承载能力不足或因种种原因使桥梁遭到破损时，可以在原有结构上增加新的受力构件。如增设纵梁、横梁或拱肋等。也可以用新的预制构件替换原有结构上有严重缺陷而又不易修复的构件。替换构件时，必须设置足够的临时支撑，采取可靠的技术措施，以保证整个结构在施工中的安全。

3. 改变结构体系

主要是利用梁的连续作用或梁、板组合作用及拱梁组合作用改变结构的受力体系，改善结构的受力状况，以提高桥梁承受活载的能力。如将简支梁变为连续梁，将铰接改为刚接，利用辅助墩、八字撑等将单跨梁变成多跨结构，以及在拱桥桥面上现浇一层钢筋混凝土板，将拱式体系转换为梁式体系等。

4. 减轻恒载

减轻原桥上部构造的恒载，可以改善原桥的受力状况，提高承受活载的能力。特别是在桥梁基础承载力受到限制，不能满足加固上部构造和提高活载所增加的承载力要求时，以减轻桥梁恒载的办法来提高承受活载的能力是一种经济有效的措施。如将实腹式拱桥改建为空腹

式拱桥，更换拱上填料等。

5. 加固墩、台及基础

有相当一部分桥梁的缺陷和病害是因墩台或基础问题引起的。对这类桥梁通常是采取用钢筋混凝土箍套、用钢筋混凝土拉杆和钢拉杆施加外加预应力、增加桩基及顶推法等措施加固桥梁墩台和基础，改善墩台和基础的受力状况，提高桥梁的承载能力。

二、桥梁加固改造方案确定的原则

旧桥加固改造方案的确定，首先要根据桥梁的现有技术状况、存在病害、车辆通行的需要以及将来交通发展的趋势对加固改造的必要性和可能性作出分析判断。然后对各种加固改造方法的技术经济效果进行比较，选择合理的加固改造方案。一般来说，只有满足下列条件的加固改造方案才被认为是可行的、有意义的。

1. 比重建新桥可以节约大量的投资和材料，具有明显的经济效益。在分析经济效益时，应包括重建新桥期间交通中断所造成的经济损失。通常情况下，可认为加固改造比重建新桥节约费用60~70%以上才是有意义的，否则重建新桥更有实际价值。

2. 桥梁经加固改造之后，无论结构性能，承载能力，还是耐久性方面都能达到使用上的要求。

3. 桥梁的下部结构具有足够的潜力，足以满足加固后所增加的桥梁自重和活载对基础的要求。如果基础或墩台的承载能力不足，或上部结构的缺陷是由墩台沉陷或位移而引起的，则须先对下部结构进行加固。

4. 在进行桥梁加固改造的经济效益比较时，为了对各种加固改造方案的技术经济效果作出评价，从中选择合理可行的加固方案，常常采用下面两个指标来进行比较：

(1) “结构改善系数”，其定义是桥梁加固改造后承载能力提高的百分率。

$$\eta = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \times 100\%$$

式中： η ——结构改善系数。

p_1 ——加固前桥梁承受活载的能力。

p_2 ——加固后桥梁承受活载的能力。

通常情况下，结构改善系数越大，则表示加固改造的效果越显著。

(2) “成本效益系数”，其定义是加固工程单位成本所取得的“结构改善系数”。这个系数越大，其成本效益越大。

$$k = \frac{\eta}{Q}$$

式中： k ——成本效益系数。

Q ——每平方米桥面所需的加固费用。

合理地选择加固改造方案，除了要考虑上面两个基本指标外，还要考虑与加固工程相关的一些其他因素。同时对加固改造技术的技术经济效果进行全面的综合评价，然后才能对所选取的加固改造技术作出最后的判断。这些综合因素包括：①加固设施的养护费用；②加固时交通阻碍造成的运输效益上的损失；③加固技术的耐久性；④施工安全和对环境的干扰程度等。

三、桥梁加固改造的基本技术要求

由于旧桥加固改造涉及的因素很多，通常迫切需要加固改造的桥梁都是地处交通要道，车辆通行密度大、荷载等级高；或修建年代久远，荷载等级偏低，有不同程度缺陷和病害的桥。不少地区还因财力、物力及机械设备而受到种种限制。特别是个别主管部门往往有个不正确的观念，认为桥还在行车，可以维持一段时期，对桥梁加固改造的重要性和紧迫性认识不足，重视不够，因而对交通部门提出的加固改造项目不易批准。从某种意义上来说，旧桥加固改造的难度甚至超过新建桥梁，因此，对现有桥梁的加固改造需要提出以下基本要求：

- (1) 费用省，经济效益高；
- (2) 技术可靠，耐久性满足使用要求，不留后患；
- (3) 设备简单，施工方便；
- (4) 尽量不中断或少中断交通；
- (5) 加固改造材料性能良好，养护工作量少。
- (6) 尽量减少对原结构的损伤。

进行旧桥加固改造工作前，需要先进行详细的设计工作。对关键的技术措施，应先进行室内试验，掌握其技术要求和检验方法。加固设计时应注意以下几点：

(1) 加固后的桥梁，在使用荷载作用下，原有结构和新增加的结构各部分的强度、刚度和裂缝，均应符合现行设计规范的要求。

(2) 当仅要求提高活载能力时，加固改造工作可以在原有结构保持恒载应力状态下进行。此时，原有结构的全部恒载和加固改造后所增加的恒载，均由原构件承担，活载由原结构和新增加的构件或加大后的截面共同承担。

(3) 如果通过检测和计算，原结构的应力已经接近或已超过允许限值，需要减小原桥的恒载应力时，应该采取一定的卸载措施。比如减少拱上填料；用轻质材料更换原桥面铺装层；用外部预应力使桥梁产生附加上拱度，或将桥梁在中部适当位置顶起，使桥梁在卸除部分恒载的情况下进行加固。此时，新增构件（截面）除与原构件共同承担活载外，还承担原有结构的一部分恒载。新旧结构按整体受力计算。

(4) 采用增大截面法进行旧桥加固改造时，由于新旧结构的材料性质或混凝土之间收缩不同，引起结构内力的重分布，在新旧材料或新混凝土的衔接面上将出现较大的拉应力，容易出现裂缝而影响到结构的整体性。因此，必要时应进行收缩力的验算。为减小混凝土收缩的不利影响，新浇混凝土不宜采用过高标号的水泥和较大的水灰比，并在新浇混凝土中设置钢丝网或加入玻璃纤维，或者尽可能采用性能相近的材料进行加固补强。

第二章 桥梁常见缺陷及病害

面对国民经济现代化建设的需要，桥梁和交通运输的各个领域都受到了严峻的挑战。即使建造年代不长的桥梁，由于设计、施工和使用上存在的问题，随着交通运输事业的发展，荷载等级的提高，也将出现缺陷和各种各样的病害。

建造新桥总是有限的，对已成桥的养护、维修、加固改造才是大量的和长期的任务。因此，了解和掌握桥梁常见的缺陷及病害，以便加强对现有桥梁的维修、养护及加固改造，使之适应交通发展的需要，更好地为国民经济建设服务，有着深远的意义。

第一节 承载能力不足

大量调查研究材料表明，造成桥梁承载能力不足的原因是各种各样的，归纳起来有以下几个方面：

一、原桥设计荷载偏低

在我国公路事业的发展过程中，大量的桥梁由于建桥年代对车辆荷载的要求不高，特别是工程投资的局限，为了节省资金，很少预测今后交通运输发展的需要，作出长远的规划。通常在测设和修建公路的时候，常常利用一些古代和近代的桥梁，对这部分老桥，有的作过一定的加固改造，有的甚至未作任何改造就加以利用。绝大多数旧桥修建时仅仅作为人行桥或过车马使用。尽管大都有一定的潜力可挖，对于当时荷载等级要求不高，行车密度较稀的交通状况是能够适应的。但是随着交通事业的发展，相当一部分老桥面临着荷载等级偏低、承载能力不足的状况，导致病害日益严重，成为危桥。如不及时进行加固改造，就不能适应交通发展的需要。

在我国各省的交通干道上这种“古为今用”的桥梁尚有一定的数量。例如四川省成渝公路上的荣昌施济桥，建于宋代，距今已有七百余年。全桥长107.5m，为7孔-10m石拱桥，建国以来一直作为主要公路干线桥使用。随着车辆荷载和行车密度的增加，该桥中孔及边孔均出现了一些纵向裂缝，目前仍在继续发展，需要立即进行加固补强，否则将造成成渝线交通中断，给国家造成很大的经济损失。

如前所述，我国现有公路桥梁大部分是按72年前部颁标准建造的，其中单是汽-10标准以下的大中桥就占已建桥梁总长度的8.6%，约为11.7万延米。目前由于四化建设的需要，作为先行的交通运输迅速发展，荷载等级不断提高，汽-20、超汽-20，乃至更高的标准，才能适应重车过桥和运输量大幅度增长的要求。这是国内外桥梁所面临的一个亟待解决的问题。

云南省近年来曾对昆畹公路上17座大、中桥（其中：石拱桥两座、箱形拱桥一座，下承式肋拱桥一座，双曲拱桥七座，钢筋混凝土梁式桥四座，预应力梁式桥一座，还有一座是在原石拱桥的基础上拼宽的钢筋混凝土梁桥，并且有几座为深水高桥，桥高达20~30m，有三座大桥，长度在200m左右。）进行了较为详细的调查，其中汽-13、拖-60的桥梁有12座；轻微病害的有四座；中等病害的有五座；严重病害的有三座。即使70年代修建的汽-15、挂-80和汽-18、挂-80的桥梁亦因满足不了交通运输发展的需要而产生程度不同的病害。特别需要

一提的是桥长在165m以上的永保（主孔 $L_0=80$ 、 $f/L=\frac{1}{8}$ 、下承式肋拱+ $L=2\times 24$ 梁式连续梁桥）、夏中（ $L=6\times 30$ ，五梁式预应力简支梁桥）、红旗（ $L=116$ m箱形拱主孔，两边各1孔-27m石拱桥，全长205m）三座桥也已存在不同程度的病害，如不及时引起重视，势必给国家造成较大的损失。

据四川省1986年统计，全省现有公路桥梁14,573座，其中大中桥2873座，汽-20、挂-100以上的桥梁有230座，仅占大中桥梁总数的8%；干线公路上的大中桥梁为508座，汽-20、挂-100以上的桥梁为108座，也只占干线公路上大中桥总数的21.25%。

全国各省的状况都大体相似，边远省分的状况更严重一些。例如新疆维吾尔自治区除1978年以后按汽-20、挂-100标准设计修建的8座桥梁外，其余91.7%的桥梁均是按汽-15以下荷载标准设计的，而汽-13、拖-60以下标准的又占59.89%。

综上所述，随着交通事业的发展，设计标准偏低、承载能力不足，将成为我国现有桥梁所面临的主要问题之一。

二、施工不当造成原桥承载能力降低

施工是实践设计的过程，设计的正确性将在施工中得到检验。同时施工的质量也将影响桥梁的整体性能。在生产实践中，有时尽管有正确的设计，但由于施工方法不当、施工质量控制不严及施工过程中遇到一些非预见性灾害，如洪水、地震等，常常导致桥梁承载能力降低，不能达到设计的预期目的。重庆市江津渡河大桥位于江津县蔡家区中山乡与柏林区紫云乡交界处，是通往贵州干道上的必经桥梁。该桥由左、右岸的1孔-9m圆弧线实腹式石板拱引桥和主跨1孔-100m石砌悬链线变截面空腹式双肋单波双曲拱主桥组成，全长151m，桥面净宽7m。设计荷载为汽-15、挂-80，是目前我国跨度最大的石砌双曲拱桥。该桥于1972年7月动工修建，1973年12月建成通车。在其主拱圈最后两环砌体尚未完成的施工期间，天降暴雨，山洪突发，拱架被汹涌而来的洪水冲垮，使拱圈受到剧烈振动，拱顶骤降14cm（因拱架构造上处理不当，引起变形过大，原已使拱顶下沉22cm），从而导致两拱脚区段拱肋下缘产生局部的纵向细小裂纹。待大桥完工后，拱顶的下沉值已达到56.9cm，致使该桥受到一定程度的伤害。验收结论是：基本合格，初步验收，交付使用，继续观测。随着病害加重，拱脚区段拱肋下缘的裂纹不断增多、增宽、加深、增长，不得已于1977年起，限制通行车辆不得超过15t。

广东三多齐桥，为4孔-25.85m无筋双曲拱桥，设计荷载为：汽-13、拖-60。由于施工质量控制不严，拱肋在拱顶部位施工时就出现裂缝，因而通车后在活载作用下，裂缝不断扩展。缝宽由原来的0.5mm发展到2~5mm，深度几乎贯通整个拱圈厚度。侧墙与拱圈脱离，竖向开裂，已成为危桥，封闭了交通。

三、其他原因

桥梁作为大自然中的一种结构物，经常会遇到各种各样的意外灾害，如地震、火灾、冲撞事故等，使桥梁结构受到损坏，承载能力下降。例如宁-杭线上的南渡桥，该桥是单孔净跨40m的飞鸟式双曲拱桥。原桥宽为净 $7+2\times 0.8$ m。拱圈由8个整体浇筑的飞鸟式拱波组成。拱轴系数 $m=2.814$ ，矢跨比 $f/L=\frac{1}{8}$ 。建于1970年，建成后由于受到两次地震破坏，

腹拱损坏严重，主拱、腹拱脚均有裂缝出现，横隔梁严重开裂，由交通部抗震小组定为危桥。南渡桥原设计荷载为汽-13、拖-60，经计算未达到此标准，加之震害严重，两次地震后，通过荷载试验，确定该桥承载能力降低了，荷载等级仅达到汽-10标准。

第二节 裂缝产生的原因及特性

裂缝是钢筋混凝土桥梁及圬工拱桥中普遍存在的一种缺陷和主要的病害。一般裂缝有两种类型：一种是由于桥梁结构的强度或刚度不足，在外荷载作用下产生的裂缝，有纵向裂缝和横向裂缝两种。另一种是由于施工质量不好而出现的收缩的裂缝，这类裂缝通常产生在钢筋混凝土桥梁上及砖石拱桥的灰缝部位。由于裂缝是桥梁上的重大病害之一，因此不管是哪一种裂缝，只要裂缝的宽度和数量超出规范允许的范围和限度，都会导致结构恶化，影响到桥梁的承载能力和使用寿命，应该引起高度的重视，及时进行修补。

一、钢筋混凝土梁桥裂缝产生的原因及特征

1. 材料质量不好

(1) 水泥质量不好，将在混凝土浇注后产生不规则裂缝。如图 2-1 所示。



图 2-1 材料质量不好产生的裂缝

(2) 骨料不好：①当骨料含泥量过大时，将随着混凝土干燥、收缩，出现不规则花纹状裂缝。

②当骨料是反应性或风化骨料时，在混凝土硬化后将出现裂缝。裂缝往往以骨料为中心，在骨料周围出现，有时也有带圆锥形剥离的。如图 2-2 所示。

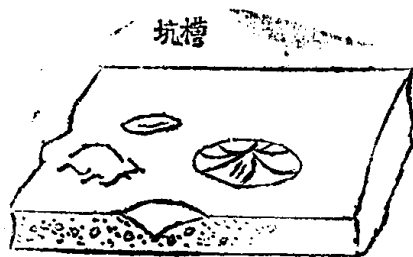


图 2-2 骨料不好引起的裂缝

2. 施工质量不好

(1) 混凝土搅拌时间过长，运输时间过长，将会使混凝土凝固速度加快，在整个结构上产生细裂缝。裂缝形状如图 2-1 所示。

(2) 模板移动或鼓出，将会使混凝土在浇筑后不久产生与模板移动方向平行的裂缝。如图 2-3 所示。

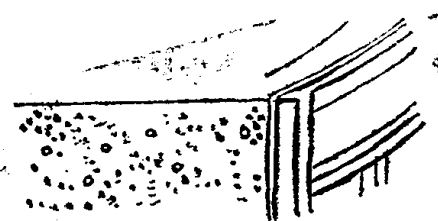


图 2-3 与模板移动方向平行的裂缝

(3) 支架下沉、脱模过早、不均匀下沉，也将会使混凝土在浇筑后不久产生裂缝。裂缝宽度比较大，有的达 1~2 mm。这类裂缝往往在支点等处最容易产生。

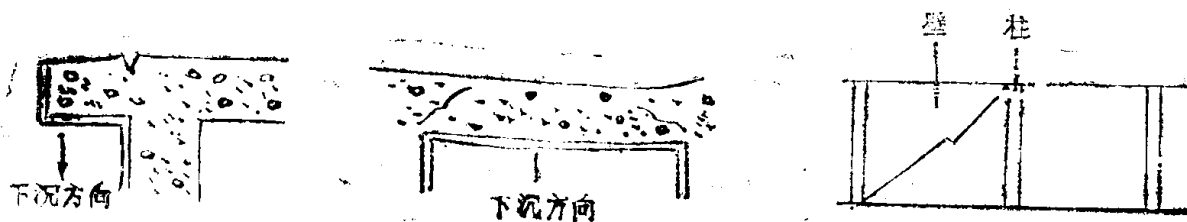


图 2-4 支架下沉、脱模过早不均匀下沉引起的裂缝

(4) 接头部位处理得不好, 将造成预制混凝土构件装配时的施工接缝和现浇混凝土时的新旧混凝土建筑缝变成裂缝(如图 2-5 所示)。由于安装时支座设置工作粗糙, 使支点处与桥轴垂直方向上形成倾斜扭裂。

(5) 养生不好, 塑性收缩状态将会在混凝土表面发生方向不定的收缩缝。这类裂缝常常出现在混凝土刚浇筑之后, 裂缝深度较浅, 约为钢筋保护层厚度, 特别是在风大的天气, 空气干燥时浇筑的混凝土更容易产生。如图 2-6 所示。

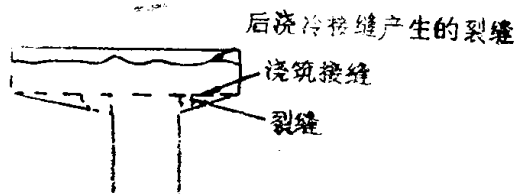


图 2-5 接头部位处理不好产生的裂缝

(6) 在振捣不充分, 或析水多的混凝土, 断面高度急变的部位, 以及钢筋、导管等的保护层小的时候, 常因混凝土的沉降, 导致在混凝土刚浇筑之后产生深度较浅的裂缝, 通常裂缝沿钢筋或导管方向产生。由于钢筋沉降小, 周围混凝土沉降大, 所以在钢筋下面形成空隙。如图 2-7 所示。



图 2-6 养生不好产生的塑性收缩裂缝

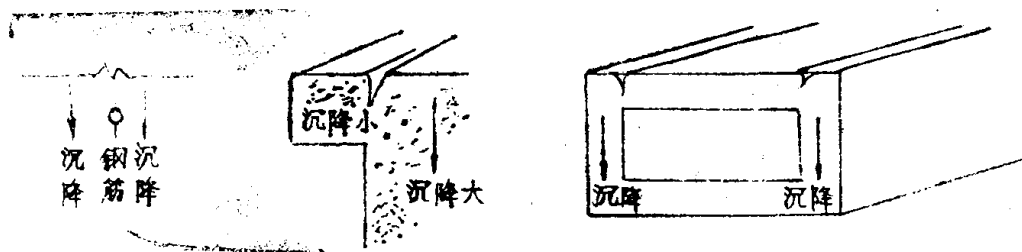


图 2-7 混凝土沉降产生的裂缝

(7) 大体积混凝土、使用了早强水泥的混凝土, 在冬季养生不够时, 常因混凝土的水化热作用, 在浇筑后 2~3 天导致混凝土结构中产生裂缝, 裂缝常以直线等间距出现。如图的 2-8 所示。

在新旧混凝土接头等处, 沿着与接缝面的垂直方向产生裂缝。即使按铅直方向, 作平面接头面时, 也同样产生裂缝。

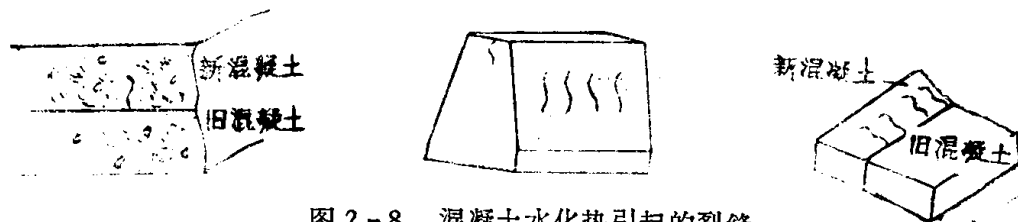


图 2-8 混凝土水化热引起的裂缝

(8) 水灰比大的混凝土，由于干燥收缩，在龄期2~3个月内容易产生裂缝。大体积混凝土也有在6~8个月内产生的。

这类裂缝往往在开口、角隅等部位容易产生，特别是当浇筑断面很薄，硬化后经过较长一段时间，更容易产生由于约束引起的收缩裂缝。对钢架结构等，如受梁约束之后浇筑桥面板，也容易产生水平方向的裂缝。收缩裂缝多为贯通裂缝。如图2-9所示。

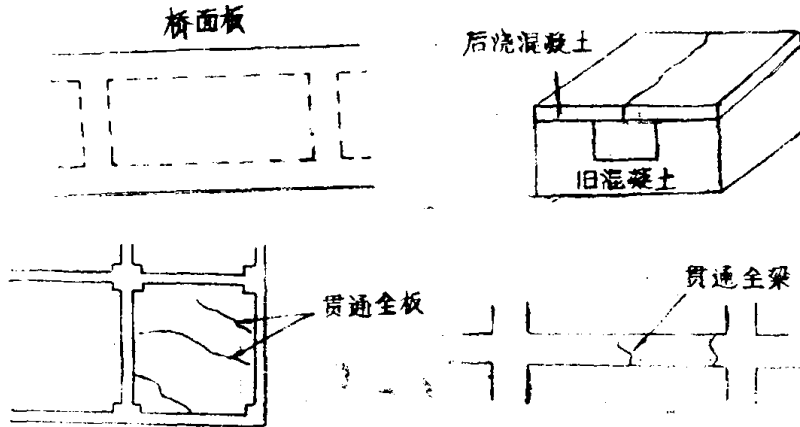


图2-9 干燥、收缩产生的裂缝

3. 设计原因导致产生裂缝

(1) 当设计的混凝土抗压强度不够时，在承压应力大的部位，由于出现局部应力，常常导致产生裂缝。如图2-10所示。



图2-10 混凝土抗压强度不够引起的裂缝

(2) 当外力(包括冲击力)超过设计要求时，由于受拉区域布筋不够，裂缝在(受弯)梁和板等的受拉边，垂直地向中性轴发展；或者由于主拉应力方向钢筋不足，在梁两端(剪切)、支座等处容易产生裂缝，裂缝方向大致接近45°，最大宽度在中性轴上，如图2-11所示。

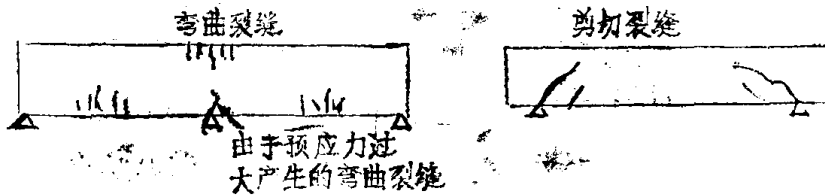


图2-11 超过设计外力引起的裂缝

(3) 加固钢筋和构件截面面积不足时，常因扭曲或在局部应力作用下，在构件较弱的部位产生裂缝。如图2-12所示。

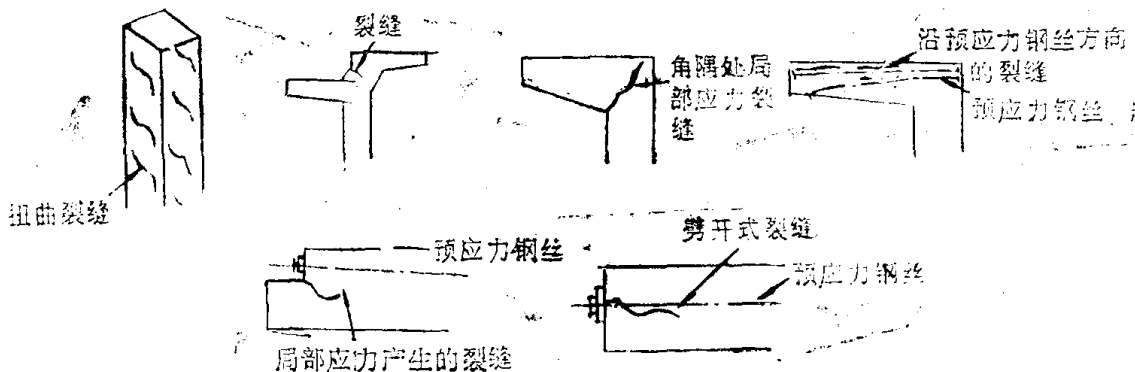


图2-12 加固钢筋和构件截面面积不足引起的裂缝

4. 外界条件的变化

(1) 由于混凝土表面温度变化, 常常导致构件在受弯方向垂直产生裂缝, 或在悬臂梁铰处产生裂缝。

(2) 火灾常常导致混凝土表面产生细裂缝和质量恶化。

(3) 钢筋生锈将沿钢筋产生裂缝。

(4) 化学作用将使混凝土表面产生细裂纹和质量恶化, 或表面砂浆脱落, 骨料外露。

(5) 基础不均匀下沉, 将使结构产生向下沉方向倾斜裂入的裂缝。

(6) 由于通行超过设计荷载的重型车辆, 在梁的受拉边产生裂缝。

二、拱桥裂缝产生的原因及特征

1. 双曲拱桥

双曲拱桥自60年代初创始以来, 在全国已修建了35万余延米, 占全国公路桥梁总延米数的 $1/4$ 左右, 在我国公路建设中发挥了重要的作用。但目前有一部分双曲拱桥的技术状况已满足不了使用要求。其中除了交通量大幅度增长和车辆荷载标准提高的因素外, 有相当一部分双曲拱桥, 由于结构上不够完善, 设计上没能达到规范要求, 以及施工质量不佳等原因, 致使桥梁存在不同程度的病害, 导致使用中变形开裂, 承载能力降低, 甚至成为危桥。裂缝是双曲拱桥中的主要病害, 由于双曲拱桥除了少数为石砌双曲拱桥外, 绝大多数均为钢筋混凝土双曲拱桥, 其裂缝产生的原因和前述一般钢筋混凝土桥梁中裂缝产生的原因基本相同, 这是共通性的原因。前述对于双曲拱桥中裂缝产生的原因分析仍然适用, 这里就不再重复叙述。下面仅就双曲拱桥自身特有的病害产生的原因及其裂缝的特性表述于下:

(1) 双曲拱桥存在的主要病害及原因: ①拱圈整体性差。早期修建的双曲拱桥, 在结构上和施工上对拱波拱肋之间的联系注意不够, 加上横向联系比较薄弱, 拱圈抗扭刚度不足, 肋波之间接缝处容易开裂, 沿拱圈出现环形缝, 致使拱圈组合截面不能整体受力。

②拱圈截面不足。由于设计上过分挖掘潜力, 拱圈截面尺寸设计不足。特别是拱肋尺寸偏小, 在计算中通常采用内力叠加法, 按组合截面验算。实际上拱肋在施工中总是承受拱波、拱板的自重, 处于应力叠加状态。拱肋截面往往应力过大, 容易过早开裂。由于拱圈刚度不足, 变形较大, 经常出现拱顶坍塌沉陷的现象。

③修建在软土地基上的双曲拱桥, 由于桥台水平位移及不均匀沉陷, 也常常导致拱圈的过大变形和严重开裂。

(2) 裂缝特性: ①主拱圈裂缝: 主拱圈出现最多的裂缝为跨中下缘和拱脚上缘的径向缝及拱波纵缝。一般说来主拱圈上的裂缝大体上可分为三种类型:

a. 径向缝。多发生在跨中和拱脚。拱脚多在上缘, 是由负弯矩引起的; 跨中多在下缘, 是由正弯矩引起的。拱顶下缘的径向缝一般分布在 $2\sim 3\text{ m}$ 范围内, 也有的分布范围很广, 约在 $L/4\sim 3/4L$ 范围内。这种裂缝多是拱顶下挠, 桥台位移及转动引起的。拱脚裂缝有的在拱脚上缘; 有的在拱座与拱脚交接处(多为一条, 缝较宽)。发生这种裂缝常常是拱圈本身刚度不足和桥台位移或向岸转动引起的。因拱脚支承形成平铰(即由无铰向两铰过渡的支承)而出现裂缝。江苏省曾对江—平线上24座双曲拱桥作过调查, 拱顶发现径向缝的有13座, 占54%。拱脚因负弯矩产生裂缝的有9座, 占37.5%。

b. 纵向裂缝。多发生在拱波顶。当拱波背打平时, 拱波在横向上形成变截面连续

板，拱波顶最单薄，往往容易形成纵向裂缝。形成纵向裂缝的主要原因是双曲拱桥拱圈横向联系差或者根本没有横向联系；桥台产生位移；超载使用。纵向裂缝往往较长，甚至延伸到整个跨长。江苏省江—平线上24座双曲拱桥中有10座有纵向缝，占41.7%，其中有四座桥的纵向缝伸展到拱圈三分之一范围内，甚至扩展到整个拱圈，三座定为危桥。

c. 水平缝。这是习惯用名，指拱肋与拱波交界处顺跨径方向的裂缝。产生原因是拱圈刚度不足，墩台位移及波肋结合构造不合理。

②拱上建筑裂缝：拱上建筑裂缝比较普遍，有的还比较严重。

a. 腹拱开裂。腹拱有重型与轻型之分。重力式腹拱大部分为圆弧拱，裂缝多发生在靠拱脚部位的第一、第二个腹拱的拱波顶。这种裂缝与桥台变位和主拱圈刚度有很大的关系。

b. 立柱的开裂。重力式腹拱立柱开裂现象相当普遍，开裂部位以在盖梁与立柱连接处居多，盖梁上也有竖向裂缝。

③其他裂缝：主要指侧墙的开裂，有的在整个实腹段，侧墙与主拱圈脱开。这种开裂现象往往与拱圈承受荷载作用或桥台位移引起的损坏有着密切关系。

2. 石拱桥常见裂缝产生的原因及特性

(1) 材料方面：①由于开采石料，或运输石料过程中不慎造成石料本身存在细小的不规则裂缝。

②部分已成桥由于石料强度不够，致使拱圈产生纵向或横向裂缝，甚至破碎。

(2) 设计原因：①由于设计计算失误，截面尺寸选择过小，造成桥梁达不到车辆通行的设计标准，承载能力偏低，拱圈截面应力超过极限应力，造成拱圈上、下缘开裂，形成纵、横向裂缝。

②矢跨比选择过小。由于弹性压缩，温度变化等因素的影响，在拱圈中产生较大的附加内力，促使裂缝的发生和发展。

③拱圈刚度不足。由于变形而产生拱上构造的外加应力，可能导致空腹式小拱上产生裂缝。

(3) 施工原因：①拱圈砌筑多层平行拱圈石时，常常因为未错缝，在拱圈下缘发生顺桥向的纵向裂缝。

②砌筑砂浆水灰比质量控制不严，标号不够，灰缝中产生收缩及顺灰缝发展的裂缝。

③拱架卸架不均匀，使拱圈受力不对称，造成拱顶下缘或拱脚上缘产生裂缝。

(4) 其他原因

①墩台移动或基础沉陷，在拱顶或拱脚产生裂缝，有时裂缝贯通到拱壁内部。

②超过设计标准的重型车辆行驶，原桥承载能力不足引起裂缝的发生和发展。

③地震火灾及洪水等意外因素使原桥受到损伤，引起裂缝发生和发展。

综上所述，裂缝是桥梁中存在的一种主要病害，其形成的原因多种多样，即使同一座桥，裂缝产生形成、发生发展的原因也不完全相同。因此必须针对具体裂缝具体分析，才能较为准确地掌握裂缝在每座桥中形成的原因，为进一步的加固和改造提供良好的条件。

第三节 墩台及其他病害

一、墩台缺陷及病害

墩台是桥梁的重要组成部分，它关系到桥跨结构在平面和高程上的位置，并将荷载传递给地基。桥台使桥梁与路堤相连接，并承受桥头填土的水平土压力，起着挡土墙的作用。桥墩则将相邻两孔的桥跨结构连接起来。

墩台的强度和稳定性在很大程度上决定了桥梁的耐久性。墩台的造价通常在桥梁总造价中占有很大的比例。同时墩台的修建，在某些情况下较之于建造桥跨结构更为复杂和艰巨。墩台承载能力不足，或出现下沉、倾斜、位移及转动将引起上部结构的损坏，严重时甚至会造成本座桥梁坍塌。

造成墩台病害和缺陷的原因是各种各样的，不同的桥梁其缺陷和病害不尽一样，引起的因素亦各不相同。故必须对墩台的主要缺陷和病害及其造成病害和缺陷的主要原因有一基本了解，再针对具体的桥梁基础进行具体的分析，找出病因，“对症下药”进行加固补强。

墩台的缺陷及病害主要有承载能力不足、下沉、倾斜、移动、转动及开裂等。其原因主要有下面几种：

1. 对地质资料调查不准确，对气象条件、地基条件，桥梁上部结构及基础与墩台身的联结研究不充分，从而导致了设计失误。

2. 施工质量不好

(1) 直接基础：由于周围地基的回填，排水不好引起土压力和支承力的变化，导致墩台病害产生。

(2) 桩基础：由于打桩顺序和速度不理想引起周围地基松弛，残渣处理不好，桩头处理不好，预制桩的接头由于打桩而破坏。

(3) 沉井基础：常因开挖方法、地下水处理，减少、摩阻方法不好及刃脚部位的封底不好，造成墩台的缺陷和病害。

(4) 墩台裂缝：①由于桥台的侧墙内填土不密实，含水量较大或用渗水不良的土壤，造成填土不均匀沉落和排水不良而发生裂缝。这种裂缝常常引起侧墙与台体的分离。②由于墩台各部分受力不均匀，在靠近墩台顶支承面处开裂最大，并逐渐向下消失。③由于墩台上活动支座作用不正常，或相邻两孔把固定支座错放在同一个墩上，而使墩台受到了相当大的制动应力，从桥台胸墙或墩顶支承面处沿墩台的正面开裂。

3. 外因

(1) 由于沿线工程，如挖基工程、打桩、现场浇注桩、沉井、沉箱工程、挖填方等的影响。

(2) 由于地下水位降低产生地基压实、负摩擦的影响。

(3) 由于猛烈的震动（如地震、爆炸等）在墩台上出现竖向的裂缝。

(4) 由于基础的不均匀沉陷而引起墩台从下面开裂形成逐渐向上消失的裂缝。

二、其它病害

除了上述病害和缺陷外，已建桥梁在运营过程中还会遇到其他一些缺陷和病害。例如圯工拱桥墩台砌体由于受自然气候条件、流水和流冰的侵蚀造成表面严重风化剥落，发生桥台