

桥梁养护维修及改建

桥梁

养护维修及改建

(苏) B·O·奥西波夫 主编

刘桂云 译

夏子敬 校



中国铁道出版社

桥梁养护维修及改建

(苏)B.O.奥西波夫 主编

刘桂元 译

夏子敬 校

中国铁道出版社

1990年·北京

内 容 简 介

本书系统而全面地阐述了铁路桥梁、涵洞运营状态的检查；桥梁材料的机械性能、质量及隐蔽缺陷和损伤的检定、桥梁各种性能的试验和载重能力、疲劳寿命的评定方法、理论分析和检算。并在理论和检算的基础上介绍了桥梁、涵洞的维修保养、加固和改建的有关方法和技术措施。本书原著经苏联交通部高等学校管理总局批准为桥梁及隧道专业教科书。

本书可供从事桥梁、线路的工程技术人员，大专院校的学生参考用。

СОДЕРЖАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ МОСТОВ

под общей редакцией

Д-ра Техн. Наук Проф. В. О. ОСИПОВ

Издательство «ТРАНСПОРТ» 1986

桥梁养护维修及改建

(苏) В. О. 奥西波夫 主编

刘柱云 译

夏子敬 校

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

各地新华书店经售

河北省南安县印刷厂印刷

开本：850×1168毫米 $\frac{1}{32}$ 印张：10.625 字数276千

1990年11月 第1版 第1次印刷

印数：1—4000册

ISBN7-113-00793-7/TU·184 定价：7.95 元

编者的话

由1986—1990年直至2000年这一期间，苏联在经济及社会发展的主要方向中，对运输系统成为重要环节的铁路运输的继续发展与进一步完善给予极大重视。铁路要完成日益增加的客、货运量，将主要依靠提高列车的载重量、密度及运行速度。所以，加强线路设备及作为其重要组成部分的桥涵结构的养护维修，使它们正常工作而不受到任何限制，将是一项重要任务。

桥梁和涵洞是复杂的永久性结构，其使用期长达百年或更久。在运营期间，此类结构会受到各种损伤；结构的各别杆件随着列车轴重的提高，将使结构中的个别部件承受不了逐渐增大的荷载；有时会因铁路运营条件或航运条件的改变，导致桥梁限界的增加。因此，对运营中的桥涵结构需要进行定期的维修、加固或改建。

由于运营中的桥梁有数量可观的一部分是在上世纪末和本世纪初修建的旧钢桥，这些桥梁的可靠性、维修、加固和改建等问题，就成为主要问题之一了。

桥梁应具有高度的运营可靠性。在桥梁的综合维修工作中，评定桥梁的可靠性和载重能力具有特殊的意义。为此，应利用最先进的计算方法、各种试验和实验研究成果。苏联对运营中桥梁的可靠性、耐久性和载重能力进行广泛的研究，制定桥梁的评定方法，完善铁路桥涵结构的维修、改建工艺及养护方法。这些工作基本上由交通部的科学研究机构、设计单位及高等院校来完成。主要研究成果反映在本书的相应章节内。

桥梁养护维修及改建这门课是在培养桥隧专业工程师的最后阶段学习，此时大学生在桥梁及其它大型结构的设计及施工方面已掌握了一定知识，并对其结构和运营使用也有了一定的概念。

此点在编写本书时已作考虑。

本书根据已批准的“桥梁养护维修与改建”教学大纲，并考虑交通部有关桥涵的一些正式规定和规范，叙述了桥梁和涵洞在养护维修和改建方面的主要问题。较详细地论述了桥梁载重能力和可靠性，研究并分析了由于桥梁长期运营所产生的损伤、维修、加固和改建等方面的问题。

本书对桥梁试验非常重视。对运营中的桥梁进行试验和研究所获得的第一手资料，不但有助于这些具体桥梁的可靠性和载重能力的评定，同时也有利于新型桥梁结构的设计和计算方法的拟定。

由于列车运行密度和轴重的提高，屡见不鲜的桥梁事故，尤其是钢桥，是与疲劳损伤有联系的。因此书中对桥梁结构的疲劳寿命、可靠性问题进行了专门的论述，并介绍了有关疲劳计算方法方面的一些主要问题。

作者对ДИИТД桥隧教研室主任 АНУССР Н.Г. Бондарь院士、交通部技术总局副局长 В.Г. Пешков 和科学技术副博士 В.П. Тарасенко 副教授的宝贵意见深表谢意。

目 录

编者的话

第一章 桥涵运营概况	1
§ 1—1 苏联铁路桥涵特点	1
§ 1—2 桥涵建筑物养护的组织领导	8
§ 1—3 桥下河床及调节河流建筑物的养护	12
§ 1—4 桥面及桥上线路的养护	16
§ 1—5 桥梁养护设施	19
§ 1—6 严寒地区桥涵结构的养护	22
第二章 桥梁和涵洞的检定·主要损伤	29
§ 2—1 概论·桥下河床及调节河流建筑物的现状检查	29
§ 2—2 桥梁平面及纵断面的测绘	34
§ 2—3 钢桥	34
§ 2—4 钢筋混凝土桥及石桥	46
§ 2—5 桥梁墩台及支座	50
§ 2—6 木桥及涵洞	55
第三章 桥梁试验	60
§ 3—1 概论·试验种类	60
§ 3—2 荷载·静载试验和动载试验	62
§ 3—3 确定桥梁材料的机械性能及质量	65
§ 3—4 查明隐蔽缺陷和损伤的方法	72
§ 3—5 试验结果的整理、分析和评定	78
第四章 桥梁试验中各种性能的测试方法	86
§ 4—1 应力测试方法	86
§ 4—2 用机械式、钢弦式及电阻应变仪测试应力	95

§ 4—3	静载试验测试位移及挠度·····	111
§ 4—4	动载试验测试位移及挠度·····	119
§ 4—5	仪器校正和试验仪器的选择及安装·····	124
第五章	评定钢桥载重能力·····	132
§ 5—1	桥梁按载重能力分级的一般情况·····	132
§ 5—2	检算单线桥实腹板梁及桥面系的载重能力·····	146
§ 5—3	检算桁架桥主桁杆件的载重能力·····	156
§ 5—4	考虑杆件损伤对其承载力的影响·····	160
§ 5—5	活载分级·····	162
§ 5—6	评定桥梁杆件及活载的分级结果·····	164
第六章	评定钢筋混凝土梁载重能力·····	170
§ 6—1	一般情况·····	170
§ 6—2	道碴槽板的计算·····	177
§ 6—3	主梁计算·····	186
§ 6—4	钢筋混凝土桥梁的损伤对载重能力的影响·····	194
§ 6—5	活载分级·确定运营制度·····	198
第七章	评定桥梁结构的疲劳寿命·····	201
§ 7—1	评定钢桥的疲劳寿命(耐久性)及可靠性·····	201
§ 7—2	评定无故障工作概率的方法·····	204
§ 7—3	损伤度的确定·····	208
§ 7—4	桥梁杆件的加载制度(荷载谱)·····	213
§ 7—5	对铆钉及螺栓连接杆件钉孔边缘应力集中的 评定方法·····	219
§ 7—6	应力集中系数的确定·····	226
§ 7—7	铆接桥梁杆件的疲劳寿命及其提高的方法·····	233
第八章	桥梁维修·····	239
§ 8—1	钢桥维修·····	239
§ 8—2	钢桥防锈措施·····	245
§ 8—3	钢筋混凝土桥梁的维修·····	249
§ 8—4	桥梁墩台的维修·····	256

§ 8—5	石桥、混凝土桥及木桥维修·涵洞维修·····	262
§ 8—6	桥梁维修机械化·····	268
第九章	桥梁加固·····	272
§ 9—1	钢桥的加固方法·····	272
§ 9—2	钢桥的加固计算·····	288
§ 9—3	钢筋混凝土桥、混凝土桥、石桥的桥跨结构 及墩台的加固·····	296
第十章	桥涵改建·····	304
§ 10—1	概 论·····	304
§ 10—2	桥跨结构的加固、更换方案的经济评定·····	306
§ 10—3	更换桥跨结构的改建·····	308
§ 10—4	桥上增设线路数量和改变桥下净空的桥梁 改建·····	311
§ 10—5	铁路桥改建为公铁两用桥梁及其它种类的改 建·····	317
§ 10—6	涵洞改建·····	326

第一章 桥涵运营概况

§1—1 苏联铁路桥涵特点

桥梁、隧道、涵洞、挡土墙、地道、排水沟、倒虹吸管等桥隧建筑物，是铁道线路设备中既复杂而又重要的组成部分。这些建筑物的完好和可靠，对列车的畅通无阻而又安全地运行具有重大的意义。桥隧建筑物在苏联铁路线上的总长达数千公里。占线路设备投资的17%，平均每1km长的正线上就具有一个桥隧建筑物。钢桥的总长度几乎为全部铁路桥长的50%。小桥（跨度在25m以下）及涵洞所占的数量最多，约为总数的90%，为总长的70%。大、中桥梁的数量占总数的10%，长度为总长的30%。

运营中的桥隧建筑物系于100多年以来先后建成，无论是它的原材料、结构形式、载重等级，或是其技术状态都各不相同。

在桥梁中，苏联铁路采用最为普遍的是钢筋混凝土桥，约占桥梁总长的50%，在数量上约占60%。在苏联，铁路钢筋混凝土桥梁从运营开始至今已超过70多年。

1930年以后，苏联开始大量建造钢筋混凝土桥；几乎有90%的钢筋混凝土桥是在1945年之后建造的。从1950年起广泛采用预应力混凝土桥（占运营的钢筋混凝土桥梁总数的4%）。苏联铁路修建的混凝土桥及石桥的数量不多，木桥只在次要线路上作临时结构用。

数量最多的是涵洞，占桥隧建筑物总数的50%以上。140年前在路基下建成第一个用石灰浆石砌涵洞。上世纪末开始修建混凝土和钢筋混凝土涵洞。新建筑材料的使用也改变了涵洞的结构：开始是以箱形、圆形涵洞代替拱涵；其后又开始采用装配式

结构。从而有可能缩短工期和降低工程造价。涵洞便于运输，所以常常比孔径不大的小桥更有可取之处。在苏联铁路上，也会遇到为数不多的圆形钢涵洞，及作为临时性结构用的木涵洞。

在19世纪最后的25年，俄国铁路的迅速发展要求制定桥梁设计基本条例，首先要确定在考虑远景前提下的计算荷载。在当时的筑路条件下，不可能制定出设计标准，因此桥梁的计算荷载及容许应力经常改变。

俄国铁路桥梁于1875年首次采用的计算荷载：蒸汽机车每线轴重为117.7kN，车辆均布荷载每线为25.8kN/m。在以后1884、1896和1907年的标准中，蒸汽机车轴重荷载采用147.2和196.2kN，而车辆均布荷载每线为21.4、25.8和58.9kN/m。由此可见，从采用第一个计算荷载时起，经过30年，机车轴重荷载增加0.7倍，而车辆均布荷载则增加1.3倍。1907年标准中制定的计算荷载根据较足。1921年采用的计算荷载：机车轴重216kN，车辆均布荷载68.7kN/m。

1918年苏联在H. C. Стрелецкий教授领导下开始研究铁路动荷载对桥梁的作用。并以研究所得的数据，在1921年的规范中就采用了具有动载作用明显形式的冲击系数：

$$1 + \mu = 1 + \frac{0.625}{1 + 0.02\lambda} \quad (1-1)$$

因为当时对铁路机车车辆的发展远景不清楚，在制定规范中的计算荷载时也就难于找到足够的依据，所以在1921年以后，1923、1925年对规范中的荷载进行了修改。直到1930年才确定了机车车辆的发展远景、从而使1931年的规范中所制定的计算荷载具有了足够的依据，一直使用到1962年。1931年第一次引用荷载等级K的概念。根据所设计结构的使用性质，K分为6、7、8级。永久性桥梁K采用8或7级，临时性桥梁（例如木桥）为6级。其计算荷载采用单位标准列车荷载H₁乘以荷载等级K来确定。

1962年规范（CH200-62）中，标准荷载的制定是以远景发展为依据的。标准荷载CK是考虑未来机车车辆的各 种类型及其

组合的换算荷载。在标准荷载CK中包含了荷载等级K的概念。

永久性结构设计采用 $K=14$ ，临时性结构 $K=10$ 。

图1--1示出1875、1907和1931年规范中有关计算荷载的一些数据。

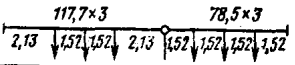
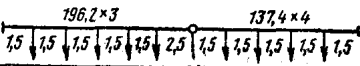
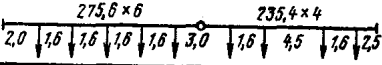
规范年代	机车数	一个机车重量 kN	车辆荷载 kN/m	荷载图式 kN/轴
1875	1-3	354	25,8	
1907	1-2	980	58,9	
HK-1931	1-2	H8 1375	78,5	

图1—1 有关计算荷载的一些数据及图式

早期设计的钢桥在运营过程中出现了一系列构造上和运营上的缺陷，后者在养护桥梁时必须考虑。例如根据1875、1884年规范和在某些情况下根据1896年规范设计的桥梁，常常采用多腹杆式和多斜杆式的桁架（图1—2）。这些桁架中的某些受拉斜杆由柔性板件组成，允许结点、拼接和连接与主桁杆件非等强度。在桁架上、下弦平面的纵向联结系具有很大的长细比，节点处的连接很弱。根据1896年规范设计成的桥梁中，广泛采用带有三角形腹杆和附加立柱及吊杆的主桁（图1—3）。按1875、1884和1896年规范设计的桁梁，桥面系采用纵、横梁体系的形式。这种纵、横梁体系具有实质性的构造上的缺陷：横梁是铰接支承，即所谓的自由桥面系；纵梁与横梁不用鱼形板连接，允许连接中的某些铆钉受拉；纵梁没有翼缘盖板等。

这些构造上的特点是导致桁架、桥面系等构件产生各种损伤的原因，并增加了运营保养费用。所以在桥梁运营过程中不得不重新把横梁改造成非铰接支承，用鱼形板及补充铆钉加固纵梁与横

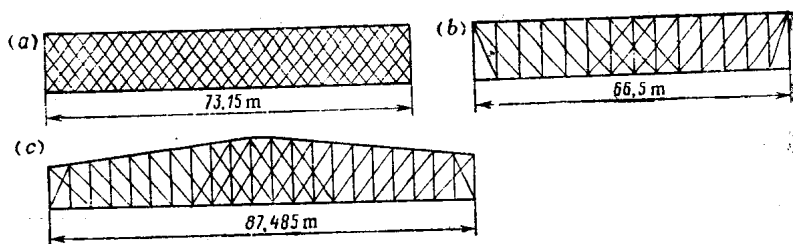


图1—2 根据1875、1884年规范设计采用的主桁图式

a——多腹杆式；b、c——双斜杆式。

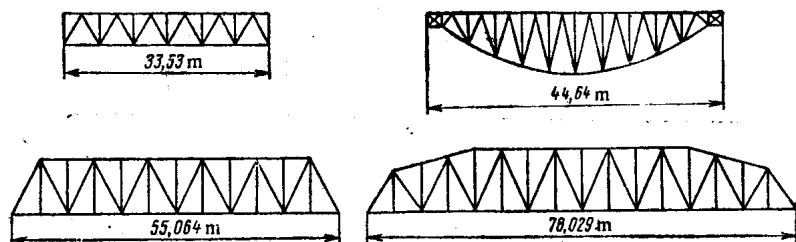


图1—3 根据1896年规范设计采用的主桁图式

梁的连接，采用大直径铆钉或高强度螺栓，加固纵梁的翼缘等。由于列车荷载的增加，根据杆件的截面和连接的载重等级，对主桁杆件要有计划地进行加固。上述类型桥梁中就有许多杆件由于长细比过大而加固过（受拉斜杆、主桁间的联结系、立柱、吊杆等）。

在早期设计的桥梁中，由于构造上存在许多缺陷，因而使许多杆件和节点形成了使其遭到严重腐蚀的条件（板束间有缝隙、箱形截面下弦无排水孔、铆钉距过大等）。

根据1875、1884和1896年的早期规范建造桥梁的运营经验及在桥梁工程方面的科学技术发展，按1907年荷载设计时，就对桥

梁的构造进行了相当大的改进（图1—4）。桥梁主桁的腹杆大大简化，不再采用铰接支承横梁及平板杆件桁梁腹杆；改善了桥面系和节点的构造。这种桥跨结构的载重能力基本上满足了在使用荷载作用下的运营要求。

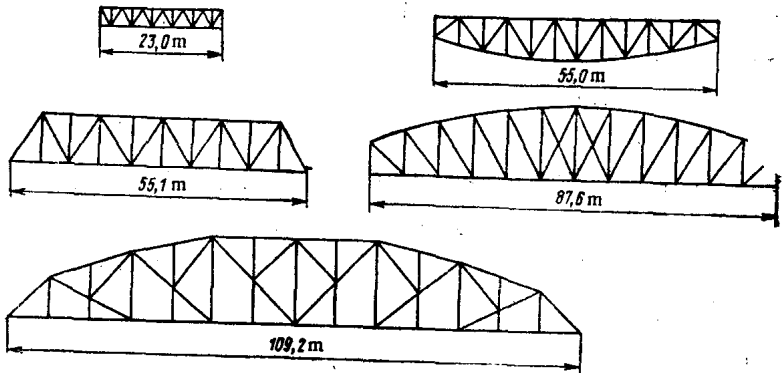


图1—4 根据1907年设计规范采用的主桁图式

根据1875年规范设计的桥跨结构实际上都已被更换，而按1884年和1896年规范设计的桥梁在本世纪30~40年代已加固过，现还在继续运营，但是此类桥梁的养护一般要根据专门的规定进行，并要尽快地更换为新的结构。按1907年规范设计的桥跨结构，通过近期荷载要求加固的不多，但是许多结构（如下承式）因与电气化有关，要加大限界高度，需将横联抬高和重建桥门架。这些工作在技术上不复杂，钢材消耗也比较少（占桥跨结构重量的4%），但是这批桥梁在铁路上的数量是相当可观的。

早期修建的桥梁，最大的缺陷是几乎任何部位都没有预先在梁上和墩台上设置检查设备，使桥梁养护工作变得非常复杂。

伟大的十月社会主义革命之后，在桥梁设计、制造、建筑方面都发生了根本的变化：改善了桥梁构造和简化了制造工艺。由于旧线改建和新线建设的需要，20年代末进行了新型钢桥的结构

设计, 30年代末编制出一系列钢桥的定型设计(交通人民委员会铁道总局桥梁设计事务所)。在这以后, 新建的桥梁广泛采用荷载为H7、H8级的通用设计图纸(钢结构设计院1944~1955, 大桥设计院1955)。

卫国战争期间, 苏联铁路有16,800座桥隧结构遭到破坏, 其中80%是桥梁。这些结构基本上到1956年才修复完毕。战后时期与修复工作的同时, 对桥隧建筑物也进行有计划地整治。例如, 1956~1964年有7,000座临时性结构更换成为永久性结构, 其中4,300座是桥梁, 木桥大约有1,000座, 钢涵管有1,800座。从30年代起, 有计划地加固根据1907年及其以前的规范制造的桥跨结构。从50年代起, 建造铁路桥梁是采用跨度为33.6m及66m的实腹板桥跨结构, 轨道设置于桥枕、钢桥面板及钢筋混凝土道碴槽板上。近年来建造的桥梁, 广泛采用高强度钢材、厂制焊接杆件和节段, 再用高强度螺栓连接。运营中的桥梁维修和改建时也采用高强度螺栓连接代替铆钉连接。

绝大多数的钢筋混凝土桥梁是简支梁, 这些梁开始是普通钢筋混凝土的, 后来是预应力钢筋混凝土的。大跨钢筋混凝土桥, 多数是整体浇筑的拱桥, 后期采用装配式钢筋混凝土构件拼装成的拱桥。革命前按1907年规范的荷载修建的长度小于12m的钢筋混凝土简支梁, 是在桥位上就地浇筑的。这种梁不超过四条主肋, 主肋配以光面钢筋, 以圆钢或扁钢作为箍筋; 混凝土的抗压强度等级不超过B20级。到1930年, 钢筋混凝土结构的计算方法有了重大的改变。30年代初以前, 计算钢筋混凝土受弯构件时, 考虑受拉区混凝土的工作, 并降低钢筋的容许应力以保证受拉区抗裂性。以后在计算中就不再考虑受拉区混凝土的工作, 而提高了钢筋的容许应力, 并容许出现0.15mm宽的裂纹。这样可以减少结构的耗钢量。1934年及其以后设计的钢筋混凝土桥跨结构的定型图就是根据这种计算方法进行的。

战后年代的桥梁施工工业化要求改变钢筋混凝土桥的构造、制造工艺和安装方法。这一时期, 交通部桥梁公司设计事务所的

定型结构、全苏运输科学研究院的混凝土大块件全装配式桥梁；列宁格勒桥梁设计院的工业化法生产的刚构块件式结构和刚构栈桥、基桩栈桥等得到了广泛推广使用。

1948年起建造长达34m的铁路预应力钢筋混凝土桥梁。开始，预应力钢筋混凝土梁的钢筋是布置在封闭管道内的。后来放弃了这种构造，铁路桥梁几乎只采用在台架上进行张拉钢筋的先张法预应力钢筋混凝土结构。

战后期间建造的钢筋混凝土梁是由混凝土和高强度钢筋制造的，这就有可能增大简支梁体系的桥梁跨度。

钢筋混凝土梁，包括按1907年规范设计的在内，在当前各种类型列车及近期荷载作用下，基本上具有足够的载重能力。但桥梁的技术状态有很大的差异。旧钢筋混凝土梁中，相对来讲，有很多裂纹。由于防水层和排水系统的不够完善，在很多情况下混凝土的质量是低劣的，这就促使了混凝土和钢筋迅速腐蚀，保护层因而也遭到破坏。晚期制造的和相对较新的钢筋混凝土梁，在运营中也产生了程度不同、有时是相当严重的损伤。这主要是由于设计不当、违反梁体制造工艺以及对结构的实际工作情况缺乏了解所造成的。钢筋混凝土桥产生损伤程度的大小与运营条件有很大关系。实践证明：在严寒地区或在侵蚀介质条件下运营的钢筋混凝土桥梁，其钢筋和混凝土的腐蚀发展的就特别快。所以从1967年起，对用于上述地区的钢筋混凝土桥梁结构，应按特别规定进行设计。

1930年以前建筑的桥梁墩台，几乎都是粗石砌体，外表再用坚固的岩石镶面。运营经验表明，这类墩台相当可靠。但有时在墩台基础，甚至是桥墩本身，尤其是在水位和冰冻的变化区内产生有如裂纹、蜂窝和带状空洞等严重病害。近期建造的桥梁，一般都是整体浇筑和装配式混凝土或钢筋混凝土墩台，而且不用石料镶面。这种墩台的优点是众所周知的。上述墩台的运营实践显露了本身的特点。例如，混凝土、钢筋混凝土桥墩在水位和冰冻变化区，特别是在混凝土浇筑缝及块件接缝处，能够形成不同种

类的裂纹及混凝土破损等病害。

涵洞在运营过程中必须进行大量工作：维修石砌体、混凝土砌体、管节裂纹和接缝、防水层；重建涵洞端墙和排水沟；改建涵洞增大孔径；有时要用桥梁代替涵洞等。

苏联铁路运营中的桥涵现状及铁路运输今后的发展前景，都迫切要求对桥涵的技术状态进一步扩大研究和分析，以便在运营条件改变的情况下提出对既有桥涵寿命的评定及进一步提高其使用寿命的建议。对在重载、高速条件下运营的桥梁进行研究具有特殊意义，同样还应提出在各种运营条件下对改进结构的养护和维修措施。

§1—2 桥涵建筑物养护的组织领导

苏联在整个铁路范围内管理桥涵建筑物的技术领导是交通部工务总局，在各铁路局则是工务处。为此，在苏联交通部工务总局及铁路局工务处内设有桥隧处或科。工务段是管理和生产的基层组织，具体承担沿线所有桥梁、涵洞及其它工程建筑物的养护维修的全套工作。有关桥涵建筑物养护维修总的原则、作业程序及工作人员的职责等项，在苏联铁路技术管理规程及桥涵建筑物养护规则中均有所规定。

桥涵建筑物的养护应保持结构状态良好，在规定的车速及结构杆件长期使用的前提下，确保列车能不间断和安全地运行。桥涵建筑物养护维修的基本原则是预防病害和事故的发生。因此，在建筑物的整个运营期间应采取综合措施进行经常养护和大修。

经常养护。包括监视结构状态；预防在建筑物中出现损伤和病害；进行必要的维修工作将病害消除于发展的初期阶段。明确的桥梁检查、监视制度对确保结构经常处于良好状态具有特殊意义。铁路规定对桥涵建筑物进行如下的检查观测：经常检查；中间检查；定期检查；调查和试验；专门观测和检验。

经常检查由巡道工、桥梁巡守工、工长和熟练养路工来执行。在经常检查过程中进行桥上线路的养护和结构本身的清理工作。根据线路和桥梁领工员的指示对桥梁的个别部件进行简单的观测。

中间检查由线路工长及桥梁工长、工段和领工段的领工员、桥梁领工员及负责桥梁工作的工务段副段长来执行。检查桥梁所有的有关部分，包括桥面、桥跨结构、墩台、导流设施及岸边加固结构；观测水位、水流变化。中间检查的目的是：检查、观测桥梁的技术状态，分析病害原因，制定整治措施，确定维修必要的工作量，监督经常检查工作的执行。中间检查的日期由桥梁领工员或在他领导下的工长根据桥梁养护规则的要求确定，或者根据桥梁类型及其技术状态由工务段长决定。例如，钢桥、钢筋混凝土桥、石桥及涵洞，在正常状态下一个季度最少要检查一次；木桥、涵管、人行道桥每月至少一次。根据老设计规范（包括1907年规范）修建的桁式桥梁，每二个月至少要检查一次。薄弱有缺陷的结构要多检查；技术状态不良的结构，在未进行整治之前规定对其进行不间断的检查。桥梁工长和领工员将检查结果载入桥涵结构检查记录簿中。中间检查所发现的重大病害应记录到桥梁台帐上。

桥梁定期检查是在桥梁领工员、区段长、养路领工员参加下由工务段长、副段长或总工程师来执行。定期检查的日期由工务段长决定，但一年不得少于两次：在春汛之后和秋天进行结构定期检查。定期检查的主要任务是：仔细检验结构状态，如果需要，则用仪器进行量测。在检查有严重病害的特大和重要桥梁时，要有铁路局及分局的工作人员参加。

调查和必要时的试验，按工务处长批准的计划，路局桥梁检定队对所有的桥梁进行调查。调查的时间规定要符合桥涵养护规则的要求。如根据1907年（包括1907年）以前的设计标准建造的大、中型钢桥每年最少调查一次，而按以后的设计规范建造的，则5年内最少进行一次调查。